



TESIS - EE185401

DESAIN NAVIGASI KAPAL TANPA AWAK MENGUNAKAN SENSOR GAS DAN CAIRAN UNTUK MENUJU LOKASI TUMPAHAN MINYAK

RADIMAS PUTRA MUHAMMAD DAVI LABIB
NRP 07111650042002

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.
Astria Nur Irfansyah, ST., M.Eng., Ph.D.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK ELEKTRONIKA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019



TESIS - EE185401

DESAIN NAVIGASI KAPAL TANPA AWAK MENGUNAKAN SENSOR GAS DAN CAIRAN UNTUK MENUJU LOKASI TUMPAHAN MINYAK

RADIMAS PUTRA MUHAMMAD DAVI LABIB
07111650042002

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.
Astria Nur Irfansyah, ST., M.Eng., Ph.D

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK ELEKTRONIKA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2019


LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember


Oleh:
Radimas Putra Muhammad Davi Labib
NRP. 07111650042002

Tanggal Ujian : 20 Desember 2018
Periode Wisuda : Maret 2019


Disetujui oleh:


1. Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.
NIP: 196904261994031003

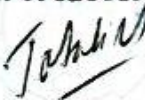
(Pembimbing I)


2. Astria Nur Irfansyah, ST., M.Eng., Ph.D.
NIP: 198103252010121002

(Pembimbing II)


3. Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Ph.D.
NIP: 196512111990021002

(Penguji I)


4. Dr. Ir. Totok Mujiono, M.IKom.
NIP: 196504221989031001

(Penguji II)


5. Muhammad Attamimi, B.Eng., M.Eng., Ph.D.
NIP: 1985201711039

(Penguji III)



Dekan Fakultas Teknologi Elektro


Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T.
NIP. 197002121995121001

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan tesis saya dengan judul **“DESAIN NAVIGASI KAPAL TANPA AWAK MENGGUNAKAN SENSOR GAS DAN CAIRAN UNTUK MENUJU LOKASI TUMPAHAN MINYAK”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 23 Januari 2019



Radimas Putra M. Davi L.

NRP. 07111650042002

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESAIN NAVIGASI KAPAL TANPA AWAK MENGUNAKAN SENSOR GAS DAN CAIRAN UNTUK MENUJU LOKASI TUMPAHAN MINYAK

Nama mahasiswa : Radimas Putra Muhammad Davi Labib
NRP : 07111650040202
Pembimbing : 1. Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.
2. Astria Nur Irfansyah, ST., M.Eng., Ph.D

ABSTRAK

Telah terjadi banyak insiden tumpahan minyak di dunia. Insiden ini menyebabkan lingkungan tercemar. Polusi ini menghasilkan efek negatif seperti kematian hewan laut. Sangat diperlukan upaya untuk menangani hal tersebut. Terdapat dua cara untuk menangani masalah tumpahan minyak yaitu *in-situ burning* dan bioremediasi. *In-situ burning* dilakukan dengan membakar minyak, hal tersebut menimbulkan lebih banyak masalah. Bioremediasi dilakukan untuk mempercepat proses degradasi dari minyak sehingga dapat mengurangi pencemaran, namun cara ini belum dapat dilakukan secara maksimal. Telah dikembangkan *prototype* robot berupa *Unmanned Surface Vehicle* (USV) yang dilengkapi dengan nanomaterial untuk menyerap minyak. USV ini bernavigasi menggunakan sistem *waypoint*. Perlu diketahui bahwa tumpahan minyak dapat bergerak terbawa oleh ombak. Hal tersebut mengakibatkan USV kurang efektif jika hanya mengandalkan sistem navigasi *waypoint*. Perlu adanya navigasi tambahan yang memungkinkan USV untuk mencari lokasi tumpahan minyak. Tumpahan minyak dapat menguap menjadi gas. Gas ini dapat menyebar di udara dan terbawa oleh angin. Gas ini dapat dirasakan oleh sensor seperti sensor gas *metal oxide*. Penggunaan sensor gas memungkinkan USV untuk bernavigasi mencari sumber dari gas tersebut. Minyak merupakan material yang tidak dapat menghantarkan listrik sedangkan air merupakan material yang dapat menghantarkan listrik. Hal ini memungkinkan untuk mendeteksi dan mengukur konsentrasi minyak menggunakan sensor cairan berbasis resistansi. Pada penelitian ini telah dibuat sistem navigasi USV untuk menuju lokasi tumpahan minyak menggunakan sensor gas dan sensor cairan berbasis resistansi. Sistem navigasi dibangun dengan menggunakan metode *fuzzy logic control*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa USV dapat menemukan lokasi tumpahan minyak menggunakan sensor gas dengan tingkat keberhasilan 60%. USV juga dapat bergerak menuju konsentrasi minyak tertinggi dengan memanfaatkan sensor cairan. Harapan ke depan, penelitian dapat dikembangkan untuk digunakan pada kondisi yang kompleks. Adanya penelitian lebih lanjut mengenai sensor cairan juga diperlukan.

Kata kunci: tumpahan minyak, navigasi, sensor cairan, sensor gas.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESIGN OF UNMANNED SURFACE VEHICLE NAVIGATION USING GAS SENSORS AND LIQUID SENSORS TOWARD THE LOCATION OF OIL SPILLS

By : Radimas Putra Muhammad Davi Labib
Student Identity Number : 07111650040202
Supervisor(s) : 1. Dr. Muhammad Rivai, ST., MT.
2. Astria Nur Irfansyah, ST., M.Eng., Ph.D

ABSTRACT

There were many oil spill incidents in the world. These incidents polluted the environment. This pollution gives negative effect such as death of sea animals. Handling it is so necessary. There are two methods to deal with oil spill problems including in-situ burning and bioremediation. In-situ burning is done by burning oil. This method gives more problems. Bioremediation is used to speed up the degradation process of the oil so that it can reduce the pollution, but this method has not been done maximally. robot prototype in the form of Unmanned Surface Vehicle (USV) equipped with nanomaterial to absorb the oil has been developed. This USV navigated using waypoint system. Very important to know that the oil spills can move carried by the waves. It made the USV being less effective if using the waypoint navigation system. Another type of navigation is needed to search the location of the oil spills. Oil spills can evaporate into gas. This gas can spread in the air carried by the wind. This gas can be sensed by sensor such as metal oxide gas sensor. The use of gas sensor allows the USV to find the source of the gas. Oil is an insulator while water is a conductor. It is possible to detect and measure the concentration of the oil using a resistive liquid sensor. In this research, USV navigation system was made to get the location of the oil spills using gas sensors and resistive liquid sensors. The navigation system is built using fuzzy logic control method. The result shows that the USV is able to find the location of the oil spill using gas sensors with 60% success rate. The USV is also able to find the highest concentration of the oil using resistive liquid sensors. In the future works, the research can be developed to be used in a complex condition. Further research on liquid sensor is also needed.

Keywords: oil spills, navigation, liquid sensor, gas sensor.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena atas segala nikmat-Nya tesis ini dapat diselesaikan. Tesis berjudul **“DESAIN NAVIGASI KAPAL TANPA AWAK MENGGUNAKAN SENSOR GAS DAN CAIRAN UNTUK MENUJU LOKASI TUMPAHAN MINYAK”** ini disusun untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik (MT) pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan tesis ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan ketulusan dan kerendahan hati penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dr. Muhammad Rivai, ST., MT., dan Astria Nur Irfansyah, ST., M.Eng., Ph.D., selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan saran, bantuan serta bimbingan dalam penelitian penulis.
2. Dr. Ir. Djoko Purwanto, M.Eng., Dr. Ir. Totok Mujiono, M.IKom., dan Muhammad Attamimi, B.Eng., M.Eng., Ph.D., selaku dosen penguji yang telah membantu penyempurnaan buku tesis ini.
3. Kepada Koordinator Pascasarjana Teknik Elektronika, Koordinator Pascasarjana Jurusan Teknik Elektro dan Ketua Jurusan Teknik Elektro serta karyawan Pascasarjana Teknik Elektro yang telah membantu penulis dalam segala urusan administrasi selama menempuh kuliah di ITS.
4. Kepada ayahanda, Ibunda, kakak, kakak ipar, Ziva, Divya dan seluruh keluarga besar di Pasuruan, Surabaya, Jember, dan Pacitan yang senantiasa memberikan dukungan serta doa untuk penulis dalam menempuh studi pascasarjana.
5. Kepada Soya Desita selaku wanita yang senantiasa menemani dan memberi dukungan untuk penulis.
6. Kepada saudara-saudara Elektrolas yang banyak memberikan doa dan motivasi untuk penulis.

7. Kepada keluarga besar Teater Simping yang juga senantiasa memberikan doa dan dukungan untuk penulis.
8. Kepada Diptya, Aa Reza, Sirojul, dan Cak Farid selaku teman seperjuangan se-hidup dan se-mati.
9. Kepada para penghuni kahyangan atau laboratorium b402-b403 yang telah mewarnai kehidupan penulis selama berada di laboratorium.
10. Kepada rekan-rekan S2 yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan tugas selama masa kuliah dan tesis ini.
11. Kepada seluruh Civitas Akademisi Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya., atas segala bantuan yang telah diberikan.

Semoga Tuhan yang pengasih lagi penyayang membalas budi baik mereka semua. Pada akhirnya, penulis menyadari bahwa tesis ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Penulis berharap semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta bagi masyarakat demi kemajuan Bangsa.

Surabaya, 23 Januari 2019

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Kontribusi	3
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA	5
2.1 Kajian Penelitian Terkait	5
2.2 Teori Dasar	5
2.2.1 Minyak Bumi	5
2.2.2 Sensor Gas	6
2.2.3 Sensor Gas MQ-4	8
2.2.4 Sensor Cairan Berbasis Resistif	9
2.2.5 Logika <i>Fuzzy</i>	10
2.2.6 Arduino Mega 2560	13
2.2.7 <i>Integrated Circuit</i> Motor Driver L298	13
2.2.8 Kapal Tanpa Awak	14
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1 Sistem Secara Keseluruhan	17
3.2 Desain Algoritma Navigasi Berbasis Sensor Gas Stereo	18
3.3 Desain Algoritma Navigasi Berbasis Sensor Cairan	21
3.4 Skenario Eksperimen	24
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Pengujian Kecepatan Purwarupa Kapal Tanpa Awak	27
4.1.1 Tujuan Pengujian	27
4.1.2 Prosedur Pengujian	27
4.1.3 Hasil Pengujian dan Analisa	28
4.2 Pengujian Respon Sensor Gas terhadap Jarak Sumber Gas	29
4.2.1 Tujuan Pengujian	29
4.2.2 Prosedur Pengujian	29
4.2.3 Hasil Pengujian dan Analisa	30
4.3 Pengujian Sensor Gas Stereo	31
4.3.1 Tujuan Pengujian	31
4.3.2 Prosedur Pengujian	32
4.3.3 Hasil Pengujian dan Analisa	32
4.4 Pengujian Respon Sensor Cairan terhadap Konduktifitas Cairan	32

4.4.1	Tujuan Pengujian.....	32
4.4.2	Prosedur Pengujian.....	33
4.4.3	Hasil Pengujian dan Analisa.....	33
4.5	Pengujian Respon Sensor Cairan terhadap Jarak Minyak.....	34
4.5.1	Tujuan Pengujian.....	34
4.5.2	Prosedur Pengujian.....	35
4.5.3	Hasil Pengujian dan Analisa.....	35
4.6	Pengujian Penggunaan Dua Sensor Cairan	36
4.6.1	Tujuan Pengujian.....	36
4.6.2	Prosedur Pengujian.....	36
4.6.3	Hasil Pengujian dan Analisa.....	37
4.7	Pengujian Respon Sensor Cairan terhadap Jarak antar Sensor	37
4.7.1	Tujuan Pengujian.....	37
4.7.2	Prosedur Pengujian.....	38
4.7.3	Hasil Pengujian dan Analisa.....	38
4.8	Pengujian Navigasi Kapal Berbasis Sensor Gas Stereo	39
4.8.1	Tujuan Pengujian.....	39
4.8.2	Prosedur Pengujian.....	39
4.8.3	Hasil Pengujian dan Analisa.....	39
4.9	Pengujian Pencarian Beberapa Titik Sumber Gas.....	42
4.9.1	Tujuan Pengujian.....	42
4.9.2	Prosedur Pengujian.....	42
4.9.3	Hasil Pengujian dan Analisa.....	42
4.10	Pengujian Navigasi Kapal Berbasis Sensor Cairan	43
4.10.1	Tujuan Pengujian.....	43
4.10.2	Prosedur Pengujian.....	43
4.10.3	Hasil Pengujian dan Analisa.....	44
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		47
5.1	Kesimpulan.....	47
5.2	Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA.....		49
LAMPIRAN		51
BIOGRAFI		71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pengambilan minyak bumi.....	6
Gambar 2.2 Ilustrasi penyerapan O ₂ oleh sensor	7
Gambar 2.3 Bentuk penghalang potensial saat adanya gas.....	8
Gambar 2.4 Model penghalang potensial antar butir dalam lingkungan gas	8
Gambar 2.5 Grafik sensitivitas MQ-4.....	9
Gambar 2.6 Rangkaian dasar MQ-4.....	9
Gambar 2.7 Sensor cairan berbasis resistif	10
Gambar 2.8 Struktur dasar logika <i>fuzzy</i>	11
Gambar 2.9 Grafik fungsi keanggotaan triangular.....	12
Gambar 2.10 Arduino mega 2560	13
Gambar 2.11 IC L298 <i>pinout</i>	14
Gambar 2.12 Kapal tanpa awak	15
Gambar 3.1 Tahapan penelitian.	17
Gambar 3.2 Skematik perangkat keras kapal tanpa awak.....	18
Gambar 3.3 Diagram blok sistem secara keseluruhan	18
Gambar 3.4 Fungsi keanggotaan <i>difference</i> pada algoritma navigasi berbasis sensor gas stereo	20
Gambar 3.5 Fungsi keanggotaan $\Delta difference$ pada algoritma navigasi berbasis sensor gas stereo	20
Gambar 3.6 Fungsi keanggotaan ΔPWM pada navigasi berbasis sensor gas stereo	21
Gambar 3.7 Fungsi keanggotaan <i>difference</i> pada navigasi berbasis sensor cairan	23
Gambar 3.8 Fungsi keanggotaan $\Delta difference$ pada navigasi berbasis sensor cairan	23
Gambar 3.9 Fungsi keanggotaan ΔPWM pada navigasi berbasis sensor cairan ...	24
Gambar 3.10 Skenario eksperimen pencarian lokasi tiga titik minyak menggunakan sensor gas.....	25
Gambar 3.11 Skenario eksperimen pencarian konsentrasi minyak tertinggi menggunakan sensor cairan	26
Gambar 4.1 Skema percobaan kecepatan kapal	28
Gambar 4.2 Grafik karakteristik kecepatan kapal terhadap nilai konstanta <i>PWM</i>	28
Gambar 4.3 Prosedur pengujian respon sensor gas terhadap jarak sumber gas....	30
Gambar 4.4 Grafik perbandingan respon sensor gas terhadap jarak sumber gas..	30
Gambar 4.5 Pengujian sensor gas stereo.....	31
Gambar 4.6 Prosedur pengujian respon sensor cairan terhadap konduktifitas cairan	33
Gambar 4.7 grafik respon sensor cairan terhadap konduktifitas.....	34
Gambar 4.8 Prosedur pengujian respon sensor cairan terhadap jarak minyak	35
Gambar 4.9 Posisi dari kedua sensor cairan	37

Gambar 4.10 Prosedur pengujian respon sensor cairan terhadap jarak antar sensor	38
Gambar 4.11 Prosedur pengujian navigasi kapal berbasis sensor gas stereo	39
Gambar 4.12 Navigasi ketika sumber gas berada pada sudut 15°	40
Gambar 4.13 Navigasi ketika sumber gas berada pada sudut 45°	40
Gambar 4.14 Navigasi ketika sumber gas berada pada sudut 135°	40
Gambar 4.15 Navigasi ketika sumber gas berada pada sudut 165°	41
Gambar 4.16 Pergerakan kapal mencari sumber gas.....	41
Gambar 4.17 Posisi awal dari pengujian pencarian beberapa titik sumber gas.....	42
Gambar 4.18 Posisi awal kapal saat pengujian navigasi berbasis sensor cairan ...	44
Gambar 4.19 Aktifitas sensor cairan pada saat percobaan	44
Gambar 4.20 Nilai <i>PWM</i> yang dibangkitkan oleh <i>microcontroller</i> selama percobaan.....	45
Gambar 4.21 Pergerakan USV pada percobaan	45

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Insiden tumpahan minyak di dunia pada tahun 2017-2018	1
Tabel 3.1 Aturan <i>fuzzy</i> yang digunakan pada navigasi berbasis sensor gas stereo.....	21
Tabel 3.2 Aturan <i>fuzzy</i> yang digunakan pada navigasi berbasis sensor cairan	24
Tabel 4.1 Data kecepatan kapal	29
Tabel 4.2 Hasil percobaan respon sensor gas terhadap jarak sumber gas.....	31
Tabel 4.3 Hasil percobaan sensor gas stereo.....	32
Tabel 4.4 Hasil pengujian sensor cairan terhadap konduktifitas.....	34
Tabel 4.5 Hasil pengujian sensor cairan terhadap jarak minyak.....	36
Tabel 4.6 Hasil pengujian dari penggunaan dua sensor cairan	37
Tabel 4.7 Hasil pengujian respon sensor cairan terhadap jarak antar sensor.....	38
Tabel 4.8 Hasil pengujian pencarian beberapa titik sumber gas	43

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Telah terjadi banyak insiden tumpahan minyak di dunia pada tahun 2017 sampai dengan 2018 [1]. Tragedi tumpahan minyak dapat menyebabkan lingkungan menjadi tercemar. Jika tidak ditangani, pencemaran ini mengakibatkan banyak efek negatif seperti rusaknya keindahan pantai akibat bau dari material minyak dan kerusakan biota pada ekosistem laut. Beberapa jenis ikan dan udang akan beraroma minyak, sehingga dapat menurunkan mutunya. Minyak dapat menyebabkan kematian pada hewan laut karena keracunan dan kekurangan oksigen [2]. Ringkasan insiden tumpahan minyak yang terjadi di dunia dapat dilihat pada tabel 1.1.

Tabel 1.1 Insiden tumpahan minyak di dunia pada tahun 2017-2018.

Waktu Kejadian	Tempat Kejadian	Berat Tumpahan Minyak	Penyebab
Januari 2017	Pelabuhan Ennore, India	65 ton	Kebocoran Kapal
Maret 2017	Sungai McKenzle, Dakota Utara	80 ton	Kebocoran Pipa
Juni 2017	Samudera Hindia	5.000 ton	Kebocoran Kapal
September 2017	Teluk Saronic, Yunani	700 ton	Kebocoran Kapal
Oktober 2017	Teluk Meksiko, Amerika Serikat	20 ton	Kebocoran Pipa
Januari 2018	Laut Cina Timur	136.000 ton	Kebocoran Kapal
Maret 2018	Sungai Lizama, Kolombia	65 ton	Kebocoran Kapal
April 2018	Teluk Balikpapan, Indonesia	4.000 ton	Kebocoran Pipa

Selama ini penanganan tumpahan minyak dilakukan dengan dua cara yaitu *in-situ burning* dan bioremediasi. *In-situ burning* dilakukan dengan membakar minyak. Hal tersebut dapat mengurangi jumlah tumpahan minyak, namun efek lain dari cara ini adalah menghasilkan asap yang beracun dan sisa-sisa residu dari minyak akan tenggelam mencemari kehidupan di bawah air. Bioremediasi dilakukan dengan memberikan mikroorganisme untuk mempercepat proses degradasi dari minyak. Dengan bioremediasi, dampak dari pencemaran dapat dikurangi namun tidak dapat maksimal. Pengembangan suatu *prototype* robot untuk menangani masalah tumpahan minyak telah dilakukan [3]. Robot ini berupa kapal tanpa awak yang dilengkapi dengan nanomaterial untuk menyerap minyak. Robot ini bernavigasi menggunakan sistem *waypoint*. Tumpahan minyak dapat bergerak terbawa oleh ombak. Hal tersebut menyebabkan robot kurang efektif jika hanya menggunakan sistem navigasi *waypoint*, sehingga perlu adanya navigasi tambahan yang memungkinkan robot untuk mencari lokasi tumpahan minyak.

Tumpahan minyak dapat menguap menjadi gas pada saat terpapar sinar matahari [4]. Gas yang dihasilkan oleh minyak dapat menyebar di udara dan terbawa oleh angin. Semakin dekat dengan minyak maka semakin banyak kadar gasnya. Gas tersebut dapat dirasakan oleh sensor seperti sensor gas *metal oxide*. Penggunaan sensor gas memungkinkan kapal tanpa awak untuk bernavigasi menuju sumber dari gas tersebut. Minyak merupakan material yang bersifat tidak dapat menghantarkan listrik, sedangkan air merupakan material yang bersifat dapat menghantarkan listrik. Hal tersebut memungkinkan untuk mendeteksi genangan minyak di atas air menggunakan sensor berbasis resistansi.

Pada penelitian ini akan dirancang suatu algoritma navigasi kapal tanpa awak untuk menuju lokasi tumpahan minyak berdasarkan kadar gas yang dirasakan oleh sensor gas stereo dan pendeteksian minyak menggunakan sensor cairan berbasis resistansi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah disebutkan, maka dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara mendeteksi dan mengukur gas atau uap minyak.

2. Bagaimana cara mendeteksi dan mengukur konsentrasi genangan minyak di atas air.
3. Bagaimana mendesain algoritma untuk bernavigasi menuju lokasi tumpahan minyak berdasarkan uap minyak.
4. Bagaimana mendesain algoritma untuk bernavigasi menuju area dengan konsentrasi minyak tertinggi.

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disebutkan, tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendeteksi dan mengukur gas atau uap minyak menggunakan sensor gas MQ-4.
2. Mendeteksi dan mengukur konsentrasi genangan minyak di atas air menggunakan sensor cairan berbasis resistansi.
3. Mendesain algoritma untuk bernavigasi menuju lokasi tumpahan minyak menggunakan dua buah sensor gas MQ-4 dengan metode *fuzzy logic control*.
4. Mendesain algoritma untuk bernavigasi menuju area dengan konsentrasi minyak tertinggi menggunakan dua buah sensor cairan berbasis resistansi dengan metode *fuzzy logic control*.

1.4 Batasan Masalah

Agar pembahasan pada penelitian lebih fokus, batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Fokus penelitian adalah algoritma navigasi dari kapal tanpa awak menggunakan sensor gas dan cairan.
2. Pengujian sensor cairan dilakukan di air tawar.
3. Pengujian navigasi dilakukan di atas permukaan air yang tenang.
4. Pada saat pengujian diasumsikan bahwa angin berhembus satu arah.
5. Penelitian dilakukan dalam skala laboratorium.

1.5 Kontribusi

Kontribusi yang dihasilkan oleh penelitian ini antara lain:

1. Algoritma navigasi kapal tanpa awak untuk menuju lokasi tumpahan minyak.

2. Algoritma navigasi kapal tanpa awak untuk menuju area dengan konsentrasi minyak tertinggi.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Kajian Penelitian Terkait

Implementasi hidung elektronik (*e-nose*) pada *mobile robot omnidirectional* menggunakan susunan sensor gas untuk mengidentifikasi pola dari respon masing-masing sensor gas terhadap bensin dan alkohol [5]. Pengimplementasian metode kendali *fuzzy* pada *mobile robot* untuk mencari sumber gas berbasis sensor gas MQ-4 [6]. Pendeteksian gas secara jarak jauh menggunakan tiga buah sensor gas dan kamera yang datanya dikirim melalui komunikasi tanpa kabel [7]. Pembuatan *robot arm* yang dilengkapi dengan sensor gas untuk mencari sumber gas telah dilakukan [8]. Pengembangan *robot arm* pendeteksi sumber gas juga telah dilakukan dengan menambahkan sistem kendali *fuzzy* [9]. Pembuatan robot *hexapod* untuk mendeteksi sumber gas telah diteliti [10]. Pendeteksian genangan minyak di laut dengan menggunakan kapal tanpa awak yang dilengkapi laser *fluorosensor* telah berhasil diteliti [11]. Pengendalian kapal ini dilakukan di *ground station* yang berada di pantai secara nirkabel.

2.2 Teori Dasar

2.2.1 Minyak Bumi

Minyak mentah adalah cairan berwarna coklat kehijauan atau bahkan hitam yang terdiri dari karbon dan hidrogen. Minyak bumi merupakan produk perubahan secara alami dari zat-zat organik yang berasal dari sisa-sisa tumbuhan dan hewan yang mengendap selama ribuan atau bahkan jutaan tahun. Minyak bumi memiliki campuran senyawa hidrokarbon sebanyak 50 sampai 98% berat, sisanya terdiri dari zat-zat organik yang mengandung belerang, oksigen, dan nitrogen serta senyawa-senyawa anorganik seperti vanadium, nikel, natrium, besi, aluminium, kalsium, dan magnesium. Secara umum, komposisi minyak bumi terdiri dari Karbon 84 sampai 87%, Hidrogen 11 sampai 14%, Sulfur 0 sampai 3%, Nitrogen 0 sampai 1%, dan Oksigen 0 sampai 2% [12].

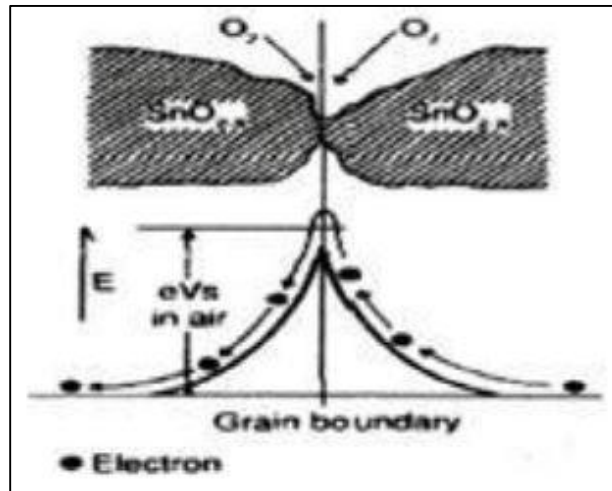


Gambar 2.1 Pengambilan minyak bumi.

Minyak bumi dikelompokkan berdasarkan komposisi kimianya menjadi empat jenis yaitu parafin, olefin, naften, dan aromatik. Parafin adalah kelompok senyawa hidrokarbon jenuh berantai lurus (alkana) C_nH_{2n+2} . Olefin adalah kelompok senyawa hidrokarbon tidak jenuh C_nH_{2n} . Naften adalah senyawa hidrokarbon jenuh yang membentuk struktur cincin dengan rumus molekul C_nH_{2n} . Senyawa-senyawa kelompok naften yang banyak ditemukan adalah senyawa yang struktur cincinnya tersusun dari 5 atau 6 atom karbon. Aromatik adalah hidrokarbon-hidrokarbon tak jenuh yang berintikan atom-atom karbon yang membentuk cincin benzen (C_6H_6) [13].

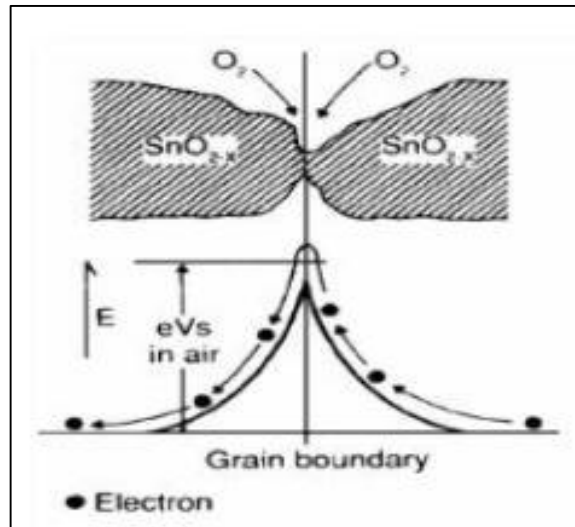
2.2.2 Sensor Gas

Sensor gas adalah sensor yang berfungsi untuk mengukur senyawa gas polutan yang ada di udara seperti *karbon monoksida*, *hidrokarbon*, *nitrooksida*, dan lain-lain. Sensor gas semikonduktor memiliki banyak jenis, tentunya dibedakan oleh sensitivitas sensor tersebut. Prinsip kerja dari sensor ini semakin tinggi konsentrasi gas maka resistansinya semakin rendah. Sensor gas semikonduktor terbentuk pada permukaan luar kristal, tegangan permukaan yang terbentuk akan menghambat laju aliran elektron [14]. Seperti ilustrasi penyerapan O_2 oleh sensor pada gambar 2.2



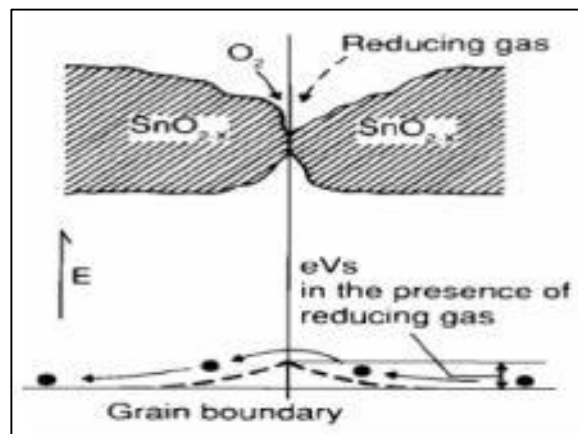
Gambar 2.2 Ilustrasi penyerapan O_2 oleh sensor [14].

Sensor gas semikonduktor terdiri atas elemen sensor, dasar sensor dan tudung sensor. Sebuah elemen sensor dibuat menggunakan timah (IV) oksida SnO_2 , wolfram (VI) oksida WO_3 , dan lain-lain. Pada suatu keadaan dimana kristal oksida logam seperti SnO_2 dipanaskan pada suhu tinggi tertentu di udara, oksigen akan teradsorpsi pada permukaan kristal dengan muatan negatif. Elektron yang menjadi donor pada permukaan kristal, akan ditransfer ke oksigen teradsorpsi sehingga membentuk suatu lapisan ruang bermuatan positif. Hasil dari kondisi tersebut menyebabkan potensial permukaan terbentuk dan akan menghambat aliran elektron. Proses yang terjadi didalam sensor adalah arus listrik mengalir melalui bagian – bagian penghubung (batas butir) kristal-kristal mikro SnO_2 . Di batas-batas antar butir, oksigen yang teradsorpsi membentuk penghalang potensial yang menghambat muatan bebas bergerak. Sehingga terbentuk sebuah tahanan listrik sensor disebabkan oleh penghalang potensial [15]. Ilustrasi dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Bentuk penghalang potensial saat adanya gas [15].

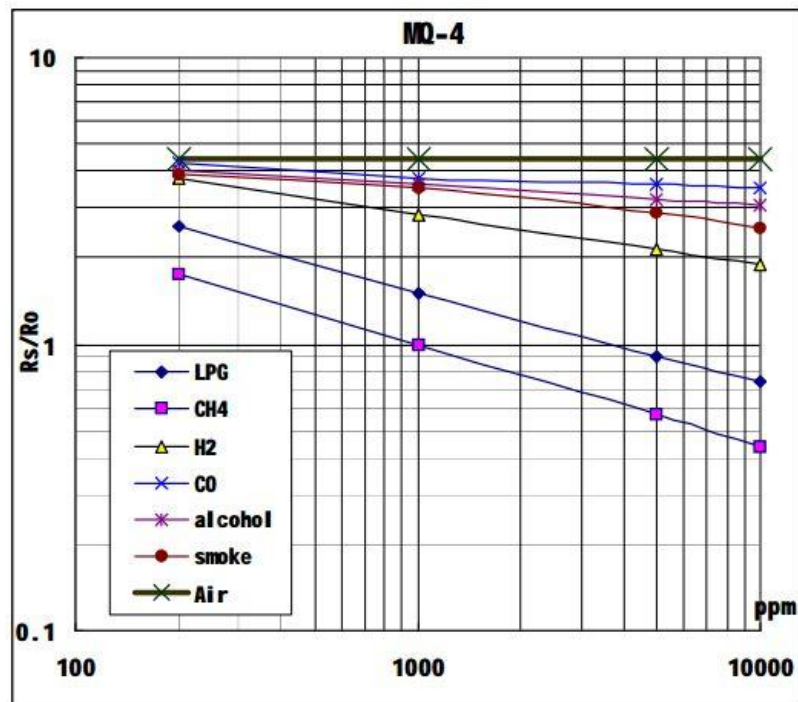
Ketika model penghalang potensial antar butir mendeteksi gas, kerapatan oksigen teradsorpsi bermuatan negatif pada permukaan semikonduktor sensor menjadi berkurang, sehingga ketinggian penghalang pada batas antar butir berkurang [6]. Sehingga menyebabkan berkurangnya tahanan butir dalam lingkungan gas. Ilustrasi model penghalang dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Model penghalang potensial antar butir dalam lingkungan gas [6].

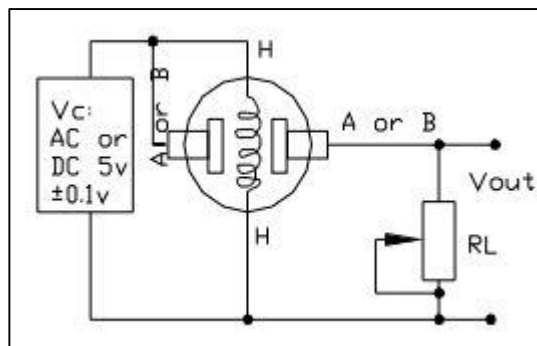
2.2.3 Sensor Gas MQ-4

Sensor gas MQ-4 terdiri dari 2 bagian, yaitu sensor elektrokimia dan sebuah pemanas di dalamnya. Sensor ini mendeteksi berbagai tipe gas, namun tingkat sensitivitasnya berbeda-beda. Sensor ini memiliki sensitivitas yang tinggi untuk mengukur metana dan memiliki sensitivitas yang rendah untuk mengukur alkohol [16]. Karakteristik dari sensor MQ-4 dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Grafik sensitivitas MQ-4 [16].

Sensor gas MQ-4 merupakan sensor gas yang terbuat dari keramik mikro AL2O₃, TinDioxide (SnO₂) yang sensitif, elektroda dan kepala sensornya terbuat dari plastik serta *stainless steel*. Bagian kepala sensor dapat bekerja dengan baik dan merupakan komponen yang sensitif [16]. Sensor ini mempunyai 6 pin, 3 pin untuk catu daya, 2 pin untuk keluaran sensor, 1 pin untuk penstabil dari pemanas. Rangkaian dasar pada sensor dapat dilihat pada gambar 2.6.

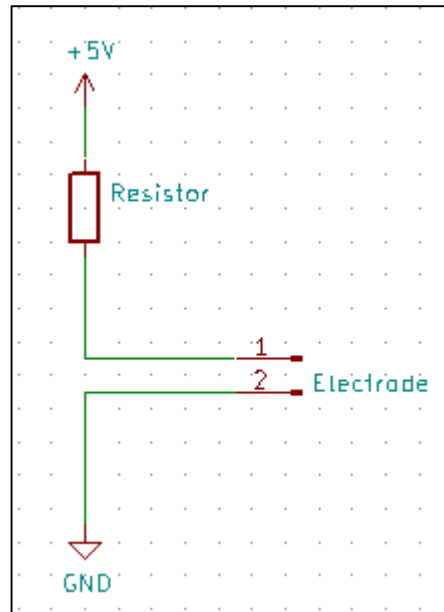


Gambar 2.6 Rangkaian dasar MQ-4 [16].

2.2.4 Sensor Cairan Berbasis Resistif

Sensor cairan berbasis resistif dapat digunakan untuk mengukur konduktivitas dari suatu cairan. Nilai konduktivitas dapat diukur dengan

menerapkan sistem rangkaian pembagi tegangan, dimana ada sebuah resistor dengan nilai tertentu dihubungkan secara seri dengan dua elektroda yang terendam di dalam suatu cairan. Dalam proses ini cairan berlaku sebagai konduktor, ion positif berpindah menuju elektroda negatif, ion negatif berpindah menuju elektroda positif [17]. Proses ini dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 Sensor cairan berbasis resistif [17].

Nilai resistansi dari cairan akan mempengaruhi nilai tegangan pada elektroda. Sehingga didapatkan rumus seperti pada persamaan 2.1.

$$V_{elektroda} = \frac{R_{elektroda}}{R_{elektroda} + R} \times 5 \quad (2.1)$$

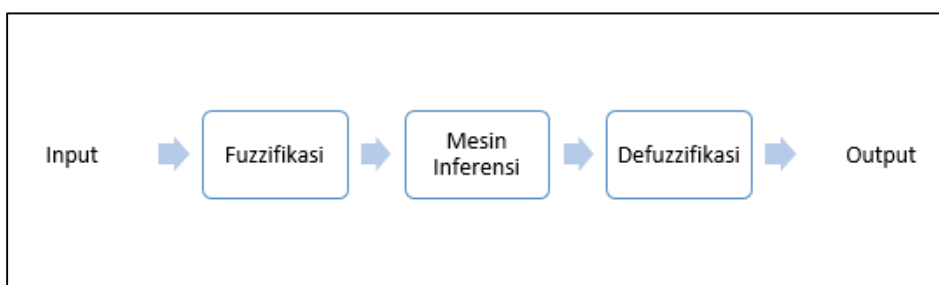
Di mana $R_{elektroda}$ merupakan nilai resistansi dari cairan (Ohm), $V_{elektroda}$ merupakan tegangan pada elektroda (Volt), dan angka 5 merupakan nilai dari tegangan sumber (Volt).

2.2.5 Logika Fuzzy

Konsep logika *fuzzy* diperkenalkan oleh Prof. Lotfi Astor Zadeh pada tahun 1962. Logika *fuzzy* adalah metodologi sistem kontrol pemecahan masalah, yang cocok untuk diimplementasikan pada sistem yang sederhana, sistem kecil, embedded system, jaringan PC, multi-channel atau workstation berbasis akuisisi data, dan sistem kontrol. Metodologi ini dapat diterapkan pada perangkat keras, perangkat lunak, atau kombinasi keduanya. Dalam logika boolean dinyatakan

bahwa segala sesuatu bersifat biner, yang artinya adalah hanya mempunyai dua kemungkinan, “Ya atau Tidak”, “Benar atau Salah”, dsb. Nilai keanggotaan dari logika boolean hanya 0 atau 1. Sedangkan dalam logika *fuzzy* memungkinkan nilai keanggotaan berada di antara 0 dan 1. Artinya, bisa saja suatu keadaan mempunyai dua nilai “Ya dan Tidak”, “Benar dan Salah” secara bersamaan, namun besar nilainya tergantung pada bobot keanggotaan yang dimilikinya [18].

Jika dibandingkan dengan logika konvensional, kelebihan logika *fuzzy* adalah kemampuannya dalam memproses penalaran secara bahasa sehingga dalam perancangannya tidak memerlukan persamaan matematik yang rumit. Beberapa alasan yang dapat diutarakan mengapa kita menggunakan logika *fuzzy* di antaranya adalah mudah dimengerti, memiliki toleransi terhadap data – data yang tidak tepat, dan mampu memodelkan fungsi-fungsi nonlinear yang sangat kompleks [19]. Pemahaman tentang struktur dasar logika *fuzzy* diperlukan untuk mengerti tentang proses atau cara kerja dari logika *fuzzy*. Struktur dasar dari logika *fuzzy* dapat dilihat pada gambar 2.8.

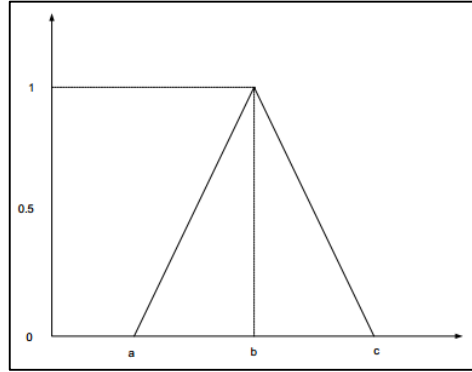


Gambar 2.8 Struktur dasar logika *fuzzy* [19].

Penjelasan dari masing – masing gambar tersebut adalah sebagai berikut:

- a. *Input* merupakan data masukan yang berupa nilai tegas (*crisp*).
- b. Fuzzifikasi yaitu proses untuk mengubah data *input* menjadi himpunan *fuzzy* dalam bentuk variabel linguistik. Penentuan keanggotaan suatu himpunan *fuzzy* tidak dibatasi oleh aturan – aturan tertentu. Keanggotaan himpunan *fuzzy* dapat dinyatakan dalam fungsi keanggotaan segitiga. Fungsi keanggotaan segitiga dapat dilihat pada persamaan 2.2. Bentuk diagram fungsi keanggotaan segitiga dapat dilihat pada gambar 2.9.

$$T(x: a, b, c) = \begin{cases} 0 & \rightarrow x \leq a \\ (a - x)/(a - b) & \rightarrow a \leq x \leq b \\ (x - c)/(b - c) & \rightarrow b \leq x \leq c \\ 0 & \rightarrow x \geq c \end{cases} \quad (2.2)$$



Gambar 2.9 Grafik fungsi keanggotaan triangular [19].

- c. Mesin inferensi merupakan proses untuk mengubah *input fuzzy* menjadi *output fuzzy* dengan cara mengikuti aturan – aturan (Rules) yang telah ditetapkan. Kumpulan aturan (Rules) *fuzzy* berupa pernyataan IF ... THEN. Mesin inferensi dapat dilakukan dengan menggunakan fungsi implikasi min. Fungsi implikasi min digunakan untuk mendapatkan nilai α – predikat hasil implikasi dengan cara memotong *output* himpunan *fuzzy* sesuai dengan derajat keanggotaan yang terkecil.
- d. Defuzzifikasi merupakan proses pengubahan besaran *fuzzy* (variabel linguistik) yang disajikan dalam bentuk himpunan – himpunan *output fuzzy* dengan fungsi keanggotaannya untuk mendapat kembali bentuk tegasnya (*crisp*). Defuzzifikasi dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Center of Area*. Metode ini didefinisikan oleh persamaan 2.3.

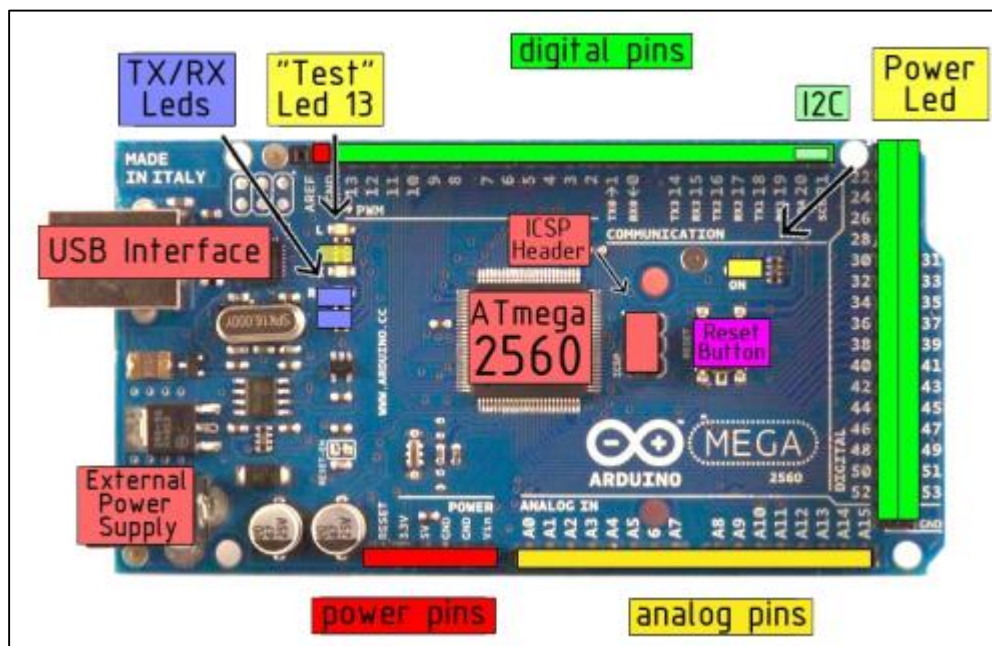
$$z^* = \frac{\sum \alpha_i z_i}{\sum \alpha_i} \quad (2.3)$$

Di mana z^* merupakan nilai defuzzifikasi, α merupakan hasil dari fungsi implikasi pada tiap rule, dan z merupakan nilai tegas dari masing-masing rule.

2.2.6 Arduino Mega 2560

Proses otomatisasi pada wahana tanpa awak dikendalikan oleh sebuah papan *minimum system microcontroller*. Divais ini bekerja sebagai otak dari sistem. Divais ini terdiri dari CPU, ROM, RAM, EEPROM, dan sejumlah port I/O yang sudah terintegrasi dalam bentuk IC. Pada penelitian ini, papan *minimum system* yang digunakan adalah Arduino Mega 2560.

Papan ini menggunakan *microcontroller* ATmega2560 sebagai intinya. *Microcontroller* ini memiliki kecepatan proses sebesar 16 MHz, memori dengan tipe *flash* sebesar 256 Kbytes dan SRAM sebesar 8 Kbytes, jumlah port I/O sebanyak 60 port, dan 16 port dari I/O dapat difungsikan sebagai *Analog to Digital Converter* (ADC). *Microcontroller* ini beroperasi pada catu daya sebesar 5 V. *Microcontroller* ini memiliki fitur komunikasi serial I2C , SPI , dan USART [20].

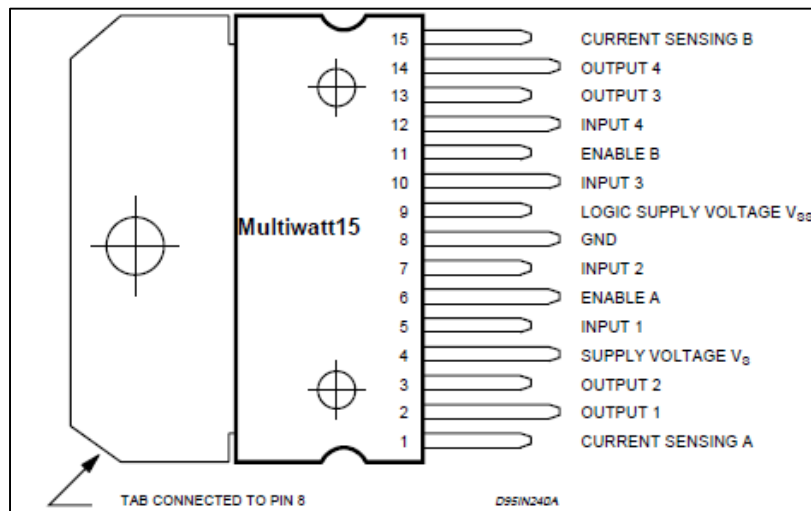


Gambar 2.10 Arduino mega 2560 [20].

2.2.7 Integrated Circuit Motor Driver L298

Penggunaan driver motor diperlukan sebagai penguat arus yang keluar dari mikrokontroler hal itu dikarenakan arus yang keluar dari port mikrokontroler saat kondisi high $IOH = 20 \text{ mA}$ sehingga dengan adanya *driver motor* L298 maka arus kecil yang keluar dari mikrokontroler dapat menggerakkan motor DC. IC L298 merupakan *driver H-Bridge* yang didesain untuk menghasilkan *drive* 2 arah dengan

arus kontinyu sampai dengan 2 A pada level tegangan 4.8 Volt sampai dengan 46 Volt. Tiap *H-Bridge* dilengkapi dengan sensor arus beban yang dapat digunakan sebagai umpan balik ke pengendali (kontroler). IC Driver L298 Ini mampu *drive* beban-beban induktif seperti misalnya relay, selenoida, motor DC, motor *Stepper*, dan berbagai macam beban yang lain. Pada IC driver L298 telah dilengkapi dengan fitur *Pulse Width Modulation* (PWM) yang digunakan untuk pengendali kecepatan [21].



Gambar 2.11 IC L298 *pinout* [21].

2.2.8 Kapal Tanpa Awak

Istilah *Unmanned Surface Vehicle* (USV) atau *Autonomous Surface Vehicle* (ASV) dimaksudkan untuk wahana yang dioperasikan pada permukaan air tanpa awak. USV dikendalikan autopilot dengan memberikan perintah-perintah seperti *waypoint*, melalui *Ground Control Station* (GCS). USV dapat mengolah data-data pergerakan dan pengamatan lalu mengirimkannya ke GCS secara *real time* melalui sistem komunikasi nirkabel. USV sebenarnya telah diujicobakan sejak Perang Dunia II, namun belum terlalu dikenal karena kapal-kapal pengintai tanpa awak generasi awal seperti OWL Mk II masih diklasifikasikan sebagai *Autonomous Underwater Vehicle* (AUV). Dilanjutkan tahun 1944, Kanada mengembangkan konsep torpedo COMOX sebelum penyerangan ke Normandia. Setelah Perang Dunia II penggunaan USV menjadi lebih berkembang, di antaranya untuk mengambil sampel air yang terkena radioaktif setelah pemboman Able dan Baker

di Atol Bikini tahun 1946. USV juga sangat berguna dalam bidang pengamatan wilayah, pengintaian, dan patrol karena memiliki kemampuan yang lebih baik dibandingkan menggunakan radar, namun lebih murah dibandingkan memperbanyak kapal komersial maupun pesawat terbang serta lebih fleksibel daripada yang dapat dilakukan oleh kapal komersial [22].



Gambar 2.12 Kapal tanpa awak [22].

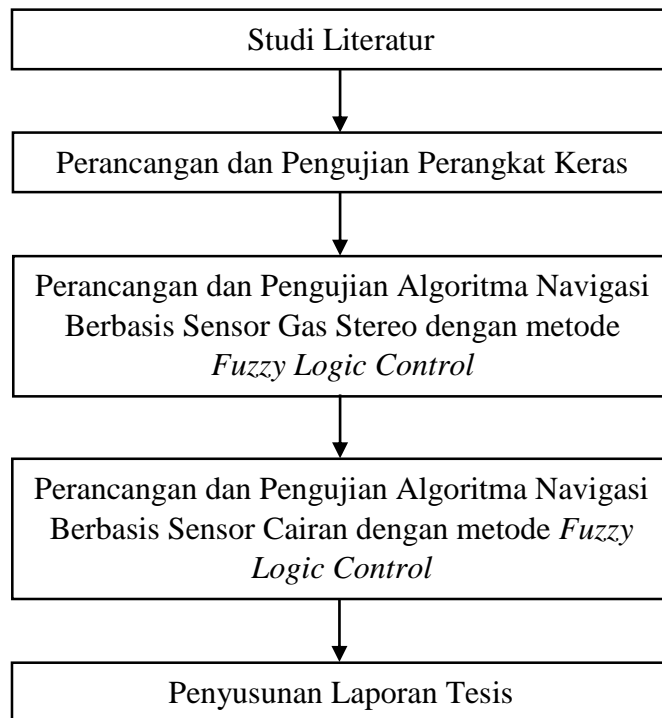
USV dapat menjadi peralatan yang efisien untuk melakukan patroli, seperti patroli patok-patok perbatasan di laut, perairan dangkal dan di sekitar garis pantai. Sistem ini dapat mengisi kekosongan data yang tidak dapat dilakukan oleh kapal patroli biasa. Untuk berpatroli di patok perbatasan dapat menghadirkan tantangan teknologi tersendiri. Hal ini disebabkan oleh dinamika lingkungan dan lebih rawannya ancaman balik dari para penyelundup ilegal maupun para pencuri ikan ilegal. Terlebih kapal-kapal penyelundup yang terbuat dari bahan non logam, akan sangat sulit diidentifikasi jika menggunakan radar saja, sehingga dibutuhkan pengamatan visual secara langsung untuk mengetahui kondisinya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan diuraikan tentang metodologi penelitian yang akan digunakan. Metodologi penelitian yang digunakan secara umum dapat ditunjukkan pada gambar 3.1

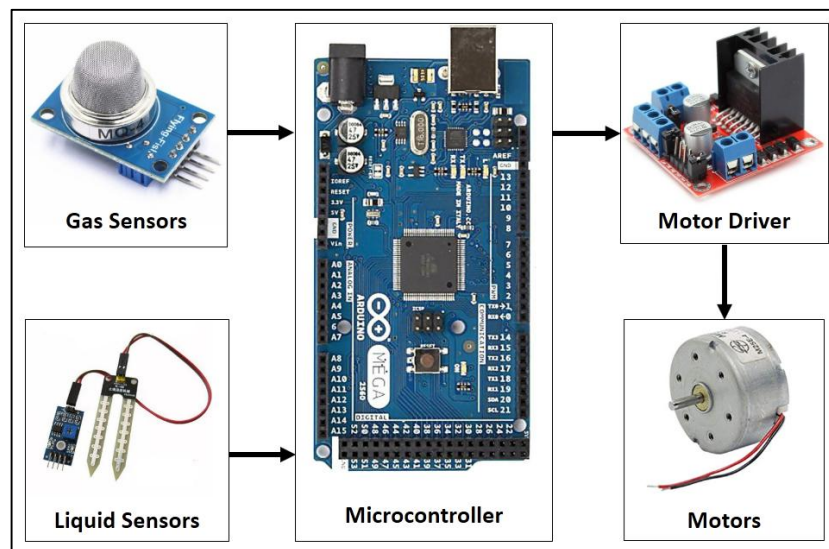


Gambar 3.1 Tahapan penelitian.

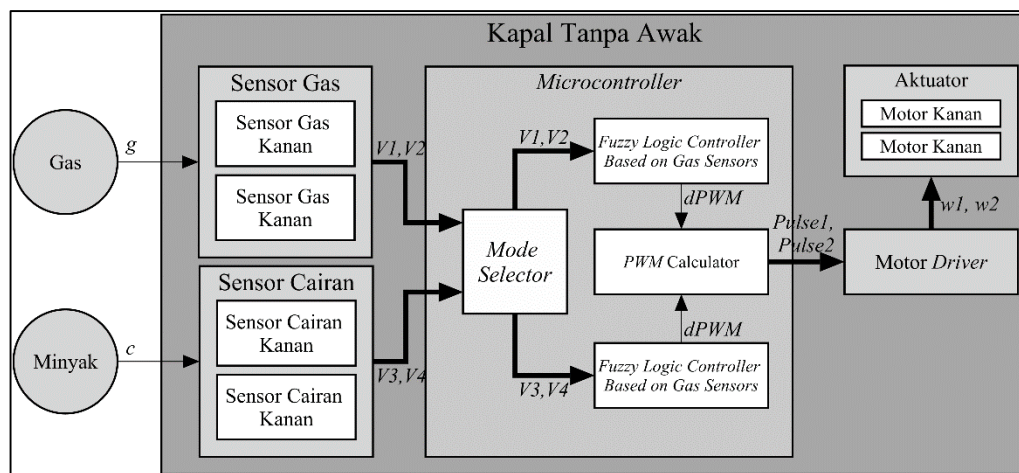
3.1 Sistem Secara Keseluruhan

Skematik perangkat keras dari kapal tanpa awak dapat dilihat pada gambar 3.2. Penelitian ini akan menerapkan sistem sensor gas stereo pada purwarupa kapal tanpa awak untuk mengetahui posisi dari sumber gas. Data dari sistem sensor gas stereo tersebut akan diproses oleh *microcontroller* menggunakan metode *fuzzy logic* untuk mengkalkulasi kecepatan motor pada purwarupa kapal tanpa awak sehingga dapat bergerak menuju lokasi dari sumber gas tersebut. Selain itu, sensor cairan akan dipasang pada purwarupa kapal tanpa awak untuk mendeteksi dan mengukur minyak yang tergenang di atas air. Ketika minyak telah dibaca oleh sensor cairan, maka purwarupa kapal tanpa awak akan menghiraukan data dari

sensor gas dan bernavigasi berdasarkan data dari sensor cairan untuk mencari konsentrasi tertinggi dari genangan minyak. Jika konsentrasi minyak tertinggi telah ditemukan, maka purwarupa kapal tanpa awak akan berhenti. Blok diagram sistem dapat dilihat pada gambar 3.3.



Gambar 3.2 Skematik perangkat keras kapal tanpa awak.



Gambar 3.3 Diagram blok sistem secara keseluruhan.

3.2 Desain Algoritma Navigasi Berbasis Sensor Gas Stereo

Algoritma navigasi ini digunakan untuk menggerakkan kapal menuju sumber gas. Algoritma navigasi ini dibangun menggunakan metode *fuzzy logic control*. Metode ini digunakan sebagai pengatur kecepatan kedua motor dari purwarupa kapal tanpa awak. Data *input* dari *fuzzy logic control* adalah respon

tegangan dari dua sensor gas, sedangkan *outputnya* adalah $\Delta Pulse Width Modulation (PWM)$. Kedua sensor gas memiliki toleransi pembacaan yang berbeda. Sehingga, diperlukan perhitungan untuk mencari tegangan murni dari gas dengan cara mengurangi nilai pembacaan sensor cairan dengan nilai referensi. Nilai referensi merupakan pembacaan sensor gas ketika tidak ada gas. Proses perhitungan ini diekspresikan pada persamaan 3.1. Respon tegangan dari sensor gas diubah menjadi nilai *Analog to Digital Converter (ADC)* dengan resolusi 10-bit oleh *microcontroller*. Berdasarkan pemaparan sebelumnya, metode *fuzzy logic control* memiliki beberapa proses yaitu fuzzifikasi, mesin inferensi, dan defuzzifikasi.

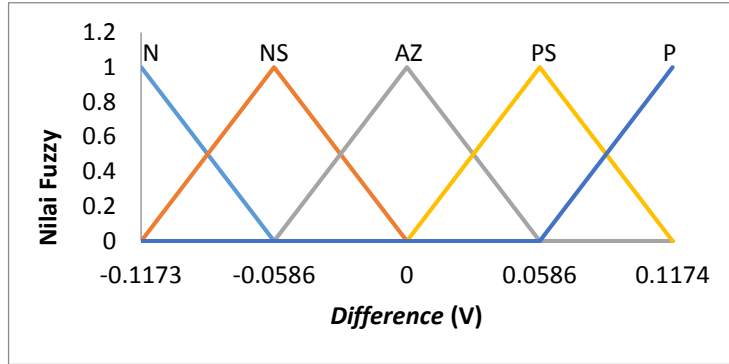
$$V_{Gas} = V_{sensor} - V_{referensi} \quad (3.1)$$

Dalam proses fuzzifikasi, nilai masukan *crisp* terdiri *difference* dan $\Delta difference$. *Difference* merupakan selisih antara konsentrasi gas yang dibaca oleh sensor gas kanan dengan konsentrasi gas yang dibaca oleh sensor gas kiri, diekspresikan pada persamaan 3.2. Sedangkan $\Delta difference$ merupakan pengurangan antara *difference* saat ini dengan *difference* sebelumnya, diekspresikan pada persamaan 3.3.

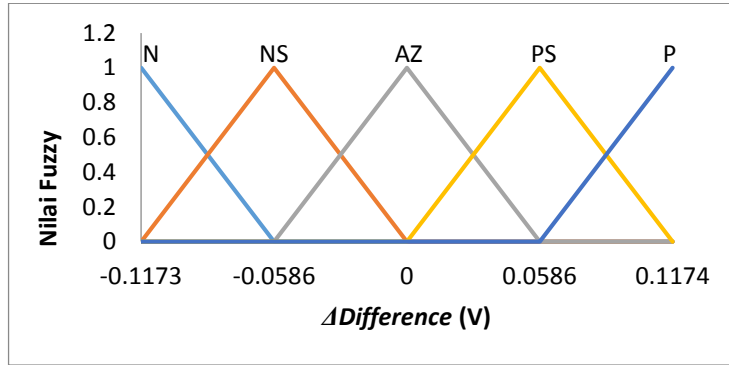
$$difference = V_{gas_sensor_kanan} - V_{gas_sensor_kiri} \quad (3.2)$$

$$\Delta difference = difference(n) - difference(n - 1) \quad (3.3)$$

Difference dan $\Delta difference$ memiliki fungsi keanggotaan yang sama. Fungsi keanggotaan *difference* dapat dilihat pada gambar 3.4 dan fungsi keanggotaan $\Delta difference$ dapat dilihat pada gambar 3.5. Fungsi keanggotaan *difference* dan $\Delta difference$ berbentuk triangular. Kedua fungsi keanggotaan tersebut terdiri dari lima variable antara lain *Negative (N)*, *Negative Small (NS)*, *Almost Zero (AZ)*, *Positive Small (PS)*, dan *Positive (P)*.



Gambar 3.4 Fungsi keanggotaan *difference* pada algoritma navigasi berbasis sensor gas stereo.



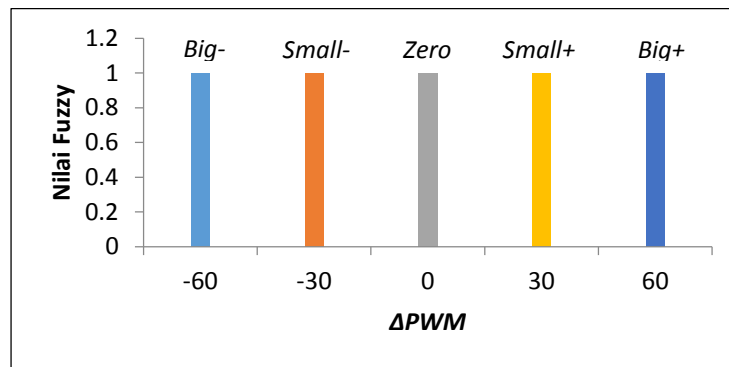
Gambar 3.5 Fungsi keanggotaan $\Delta difference$ pada algoritma navigasi berbasis sensor gas stereo.

Dalam proses mesin inferensi, aturan *fuzzy* digunakan untuk mengontrol sistem secara logis untuk mengkolerasikan antara variable *input* dengan *output*. Aturan *fuzzy* untuk algoritma navigasi berbasis sensor gas stereo yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.1. Proses pengambilan keputusan dalam penelitian ini menggunakan mekanisme minimum untuk membuat *output fuzzy* yang tepat.

Proses defuzzifikasi akan menghasilkan nilai keluaran *crisp*. Keluaran *crisp* terdiri dari satu buah *output* yaitu ΔPWM . *Output* ini memiliki lima fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan tersebut didefinisikan sebagai *singleton*. Fungsi keanggotaan ΔPWM dapat dilihat pada gambar 3.6.

Tabel 3.1 Aturan *fuzzy* yang digunakan pada navigasi berbasis sensor gas stereo.

<i>Difference</i>	<i>ΔDifference</i>				
	N	NS	AZ	PS	P
N	<i>Big-</i>	<i>Big-</i>	<i>Big-</i>	<i>Small+</i>	<i>Big+</i>
NS	<i>Big-</i>	<i>Small-</i>	<i>Small-</i>	<i>Small+</i>	<i>Big+</i>
AZ	<i>Big-</i>	<i>Small-</i>	<i>Zero</i>	<i>Small+</i>	<i>Big+</i>
PS	<i>Big-</i>	<i>Small-</i>	<i>Small+</i>	<i>Small+</i>	<i>Big+</i>
P	<i>Big-</i>	<i>Small-</i>	<i>Big+</i>	<i>Big+</i>	<i>Big+</i>



Gambar 3.6 Fungsi keanggotaan ΔPWM pada navigasi berbasis sensor gas stereo.

Metode yang digunakan pada proses defuzzifikasi adalah metode *CoA*. Nilai *output* digunakan untuk menghitung nilai konstanta *PWM* dengan resolusi 8-bit. Nilai tersebut digunakan oleh *microcontroller* untuk membangkitkan sinyal *PWM*. Sinyal tersebut akan dikirimkan ke *Motor Driver* untuk menggerakkan motor kanan dan kiri. Nilai konstanta *PWM* dihitung menggunakan rumus pada persamaan 3.4 untuk motor kanan dan persamaan 3.5 untuk motor kiri.

$$PWM_{kanan} = 80 - \Delta PWM \quad (3.4)$$

$$PWM_{kiri} = 80 + \Delta PWM \quad (3.5)$$

3.3 Desain Algoritma Navigasi Berbasis Sensor Cairan

Algoritma navigasi ini digunakan untuk menggerakkan kapal menuju area dengan konsentrasi minyak tertinggi. Algoritma navigasi ini dibangun menggunakan metode *fuzzy logic control*. Metode ini digunakan sebagai pengatur kecepatan kedua motor dari purwarupa kapal tanpa awak. Data *input* dari *fuzzy logic*

control adalah respon tegangan dari dua sensor cairan, sedangkan *output* adalah nilai ΔPWM . Kedua sensor cairan memiliki toleransi pembacaan yang berbeda. Sehingga, diperlukan perhitungan untuk mencari tegangan murni dari pembacaan konsentrasi minyak dengan cara mengurangkan nilai pembacaan sensor cairan dengan nilai referensi. Nilai referensi merupakan pembacaan sensor cairan ketika tidak ada genangan minyak. Proses perhitungan ini diekspresikan pada persamaan 3.4. Respon tegangan dari sensor cairan diubah menjadi nilai *ADC* dengan resolusi 10-bit oleh *microcontroller*.

$$V_{minyak} = V_{sensor} - V_{referensi} \quad (3.6)$$

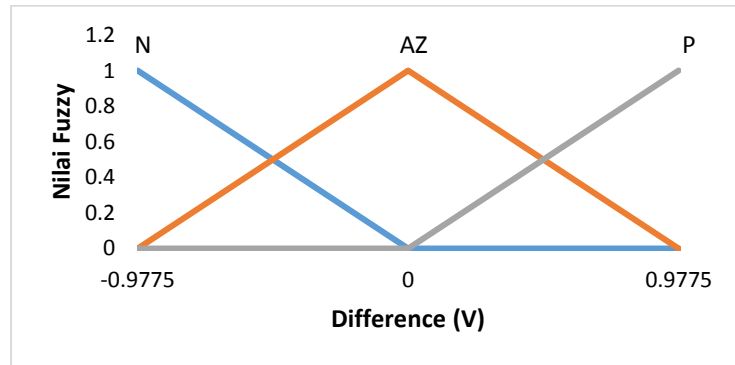
Dalam proses fuzzifikasi, nilai masukan *crisp* terdiri *difference* dan $\Delta difference$. *Difference* merupakan selisih antara konsentrasi minyak yang dibaca oleh sensor cairan kanan dengan konsentrasi minyak yang dibaca oleh sensor cairan kiri, diekspresikan pada persamaan 3.7. Sedangkan $\Delta difference$ merupakan pengurangan antara *difference* saat ini dengan *difference* sebelumnya, diekspresikan pada persamaan 3.8.

$$difference = V_{minyak_sensor_kanan} - V_{minyak_sensor_kiri} \quad (3.7)$$

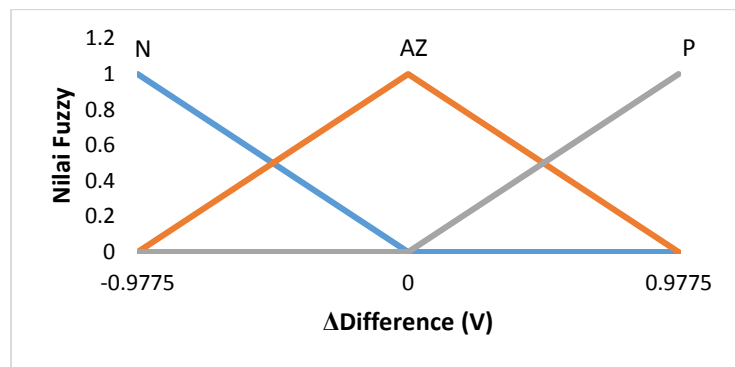
$$\Delta difference = difference(n) - difference(n - 1) \quad (3.8)$$

Difference dan $\Delta difference$ memiliki fungsi keanggotaan *input* yang sama. Fungsi keanggotaan *difference* dapat dilihat pada gambar 3.9 dan fungsi keanggotaan $\Delta difference$ dapat dilihat pada gambar 3.10. Fungsi keanggotaan *difference* dan $\Delta difference$ berbentuk triangular. Kedua fungsi keanggotaan tersebut terdiri dari tiga variable antara lain *Negative (N)*, *Almost Zero (AZ)*, dan *Positive (P)*.

Dalam proses mesin inferensi, Aturan *fuzzy* untuk algoritma navigasi berbasis sensor cairan yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 3.2. Proses pengambilan keputusan untuk algoritma navigasi berbasis sensor cairan dalam penelitian ini menggunakan mekanisme minimum untuk membuat *output fuzzy* yang tepat.



Gambar 3.7 Fungsi keanggotaan *difference* pada navigasi berbasis sensor cairan.



Gambar 3.8 Fungsi keanggotaan $\Delta difference$ pada navigasi berbasis sensor cairan.

Proses defuzzifikasi akan menghasilkan nilai keluaran *crisp*. Keluaran *crisp* terdiri dari satu buah *output* yaitu ΔPWM . *Output* ini memiliki lima fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan tersebut didefinisikan sebagai *singleton*. Fungsi keanggotaan ΔPWM dapat dilihat pada gambar 3.9.

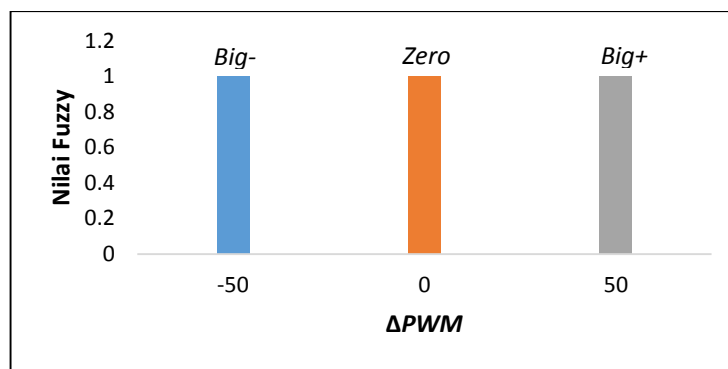
Metode yang digunakan pada proses defuzzifikasi adalah metode *CoA*. Nilai *output* digunakan untuk menghitung nilai konstanta *PWM* dengan resolusi 8-bit. Nilai tersebut digunakan oleh *microcontroller* untuk membangkitkan sinyal *PWM*. Sinyal tersebut akan dikirimkan ke *Motor Driver* untuk menggerakkan motor kanan dan kiri. Nilai konstanta *PWM* dihitung menggunakan rumus pada persamaan 3.9 untuk motor kanan dan persamaan 3.10 untuk motor kiri.

$$PWM_{kanan} = 80 - \Delta PWM \quad (3.9)$$

$$PWM_{kiri} = 80 + \Delta PWM \quad (3.10)$$

Tabel 3.2 Aturan fuzzy yang digunakan pada navigasi berbasis sensor cairan.

<i>Difference</i>	<i>$\Delta Difference$</i>		
	N	NS	AZ
N	<i>Big-</i>	<i>Big-</i>	<i>Zero</i>
AZ	<i>Big-</i>	<i>Zero</i>	<i>Big+</i>
P	<i>Zero</i>	<i>Big+</i>	<i>Big+</i>



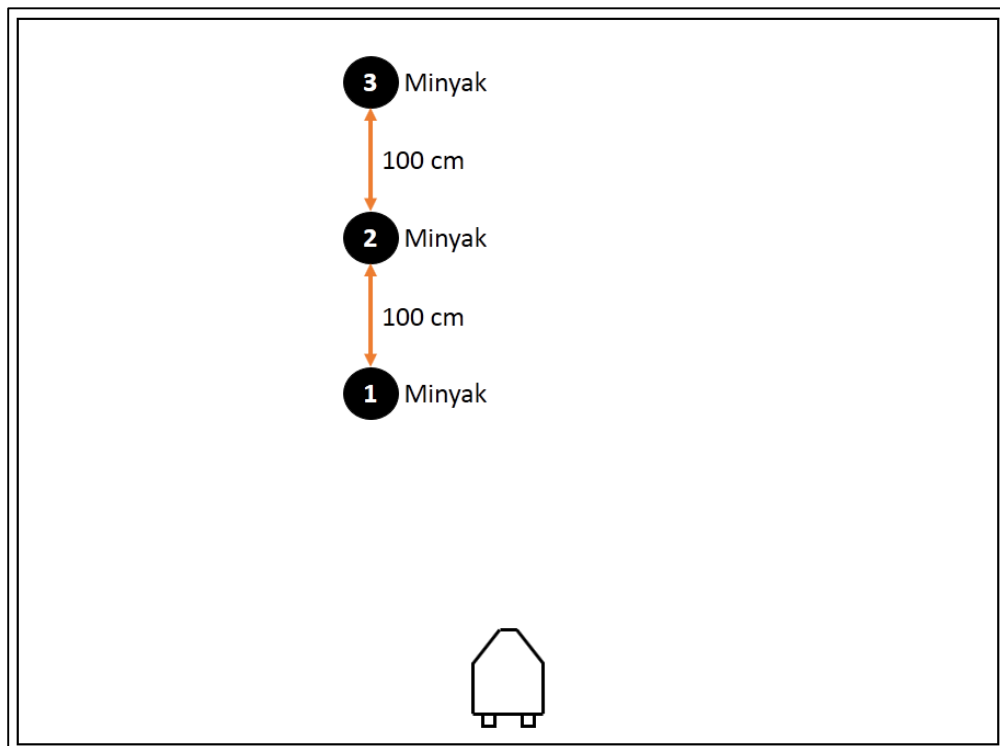
Gambar 3.9 Fungsi keanggotaan ΔPWM pada navigasi berbasis sensor cairan.

3.4 Skenario Eksperimen

Skenario eksperimen bertujuan untuk menganalisa apakah sistem navigasi kapal tanpa awak untuk menuju lokasi tumpahan minyak dapat bekerja sesuai target yang diinginkan. Terdapat dua skenario eksperimen yang dilakukan pada penelitian ini. Skenario pertama adalah eksperimen pencarian lokasi beberapa titik minyak menggunakan dua sensor gas. Ilustrasi dari skenario ini dapat dilihat pada gambar 3.10.

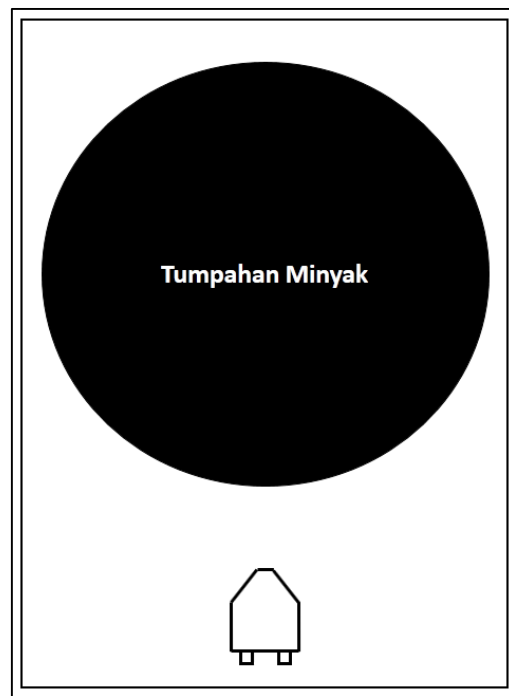
Dalam skenario ini, minyak akan di letakkan pada suatu wadah yang akan diapungkan di dalam danau. Terdapat tiga sampel minyak yang akan diletakkan sejajar dengan jarak antar sampel sebesar 100 cm. Pada awal proses, kapal tanpa awak akan bergerak lurus hingga mendeteksi gas yang dihasilkan oleh minyak pertama. Kapal tanpa awak akan bergerak menuju minyak pertama dan berhenti jika konsentrasi gas yang dibaca oleh kedua sensor gas sangat tinggi. Selanjutnya, minyak pertama diangkat dari kolam dan kapal tanpa awak dibiarkan tidak bergerak selama 300 detik untuk menstabilkan kembali pembacaan sensor gas. Setelah itu,

kapal tanpa awak bergerak menuju minyak kedua dan berhenti jika konsentrasi gas yang dibaca oleh kedua sensor gas sangat tinggi. Selanjutnya, minyak kedua diangkat dari kolam dan kapal tanpa awak dibiarkan tidak bergerak selama 300 detik. Terakhir, kapal tanpa awak bergerak menuju minyak ketiga dan berhenti jika konsentrasi gas yang dibaca oleh kedua sensor gas sangat tinggi. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali untuk mengetahui tingkat keberhasilan kapal tanpa awak mencari ketiga titik minyak tersebut.



Gambar 3.10 Skenario eksperimen pencarian lokasi tiga titik minyak menggunakan sensor gas.

Skenario kedua adalah pencarian konsentrasi minyak tertinggi menggunakan dua sensor cairan resistif. Ilustrasi dari skenario ini dapat dilihat pada gambar 3.11. Dalam skenario ini, minyak bumi akan ditumpahkan pada kolam dengan panjang 150 cm dan lebar 90 cm. Selanjutnya kapal tanpa awak dibiarkan bernavigasi menggunakan dua sensor cairan hingga konsentrasi minyak yang dibaca oleh kedua sensor cairan sangat tinggi.



Gambar 3.11 Skenario eksperimen pencarian konsentrasi minyak tertinggi menggunakan sensor cairan.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai pengujian dan analisa terhadap hasil perancangan dan pembuatan sistem pada bab sebelumnya. Adapun pengujian yang dilakukan terdiri dari:

1. Pengujian kecepatan kapal
2. Pengujian respon sensor gas terhadap jarak sumber gas
3. Pengujian sensor gas stereo
4. Pengujian respon sensor cairan terhadap konduktifitas
5. Pengujian respon sensor cairan terhadap jarak minyak
6. Pengujian penggunaan dua sensor cairan
7. Pengujian respon sensor cairan terhadap jarak antar sensor
8. Pengujian navigasi kapal berbasis sensor gas stereo
9. Pengujian navigasi pencarian beberapa titik sumber gas
10. Pengujian navigasi kapal berbasis sensor cairan

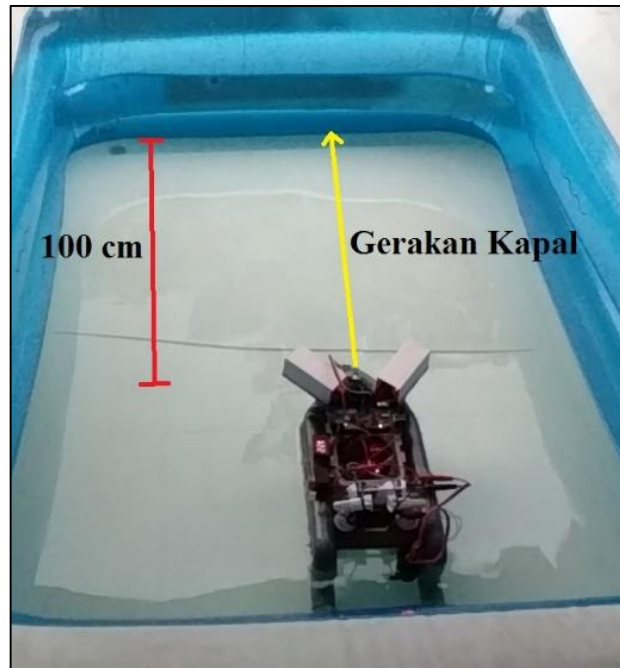
4.1 Pengujian Kecepatan Purwarupa Kapal Tanpa Awak

4.1.1 Tujuan Pengujian

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari sinyal *PWM* yang diberikan terhadap kecepatan dari kapal tanpa awak. Sinyal *PWM* dibangkitkan oleh *microcontroller* berdasarkan konstanta *PWM* dengan resolusi 8-bit.

4.1.2 Prosedur Pengujian

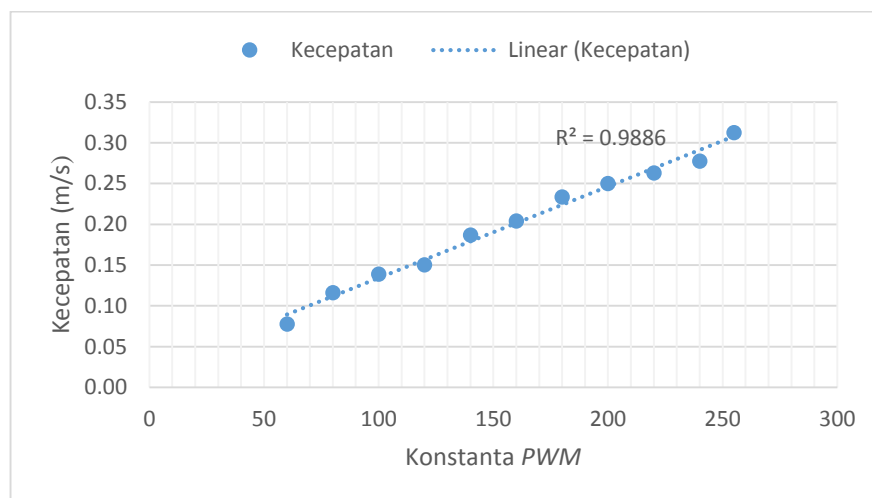
Pengujian dilakukan dengan cara memberikan nilai konstanta *PWM* tertentu terhadap kedua motor. Kapal tanpa awak dibiarkan bergerak lurus sejauh 100 cm. Waktu tempuh dari kapal akan dicatat. Dari hasil percobaan tersebut, akan diketahui jarak tempuh dari kapal tanpa awak setiap detiknya. Skema percobaan dapat dilihat pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Skema percobaan kecepatan kapal.

4.1.3 Hasil Pengujian dan Analisa

Hasil pengujian kecepatan kapal tanpa awak dapat dilihat pada tabel 4.1. Dari hasil pengujian terlihat bahwa semakin besar nilai konstanta *PWM* yang diberikan, maka kecepatan dari kapal akan semakin meningkat. Karakteristik kecepatan kapal tanpa awak terhadap nilai konstanta *PWM* dapat dilihat pada gambar 4.2.



Gambar 4.2 Grafik karakteristik kecepatan kapal terhadap nilai konstanta *PWM*.

Tabel 4.1 Data kecepatan kapal.

Konstanta <i>PWM</i>	Kecepatan (ms^{-1})
60	0.08
80	0.12
100	0.14
120	0.15
140	0.19
160	0.20
180	0.23
200	0.25
220	0.26
240	0.28
255	0.31

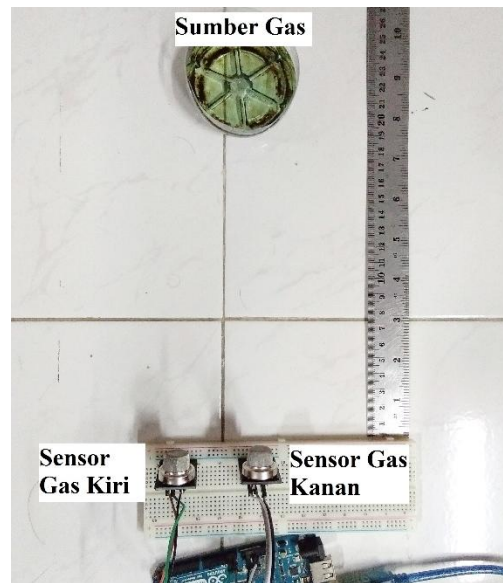
4.2 Pengujian Respon Sensor Gas terhadap Jarak Sumber Gas.

4.2.1 Tujuan Pengujian

Sensor gas merupakan sensor yang digunakan untuk mengetahui adanya gas di lingkungan sekitar kapal. Keluaran dari sensor gas tersebut berupa tegangan analog dari 0 Volt sampai 5 Volt. Di dalam sensor gas terdapat pemanas internal yang berfungsi untuk memanaskan sensor sebelum dapat digunakan. Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk mendapatkan tegangan keluaran sensor terhadap jarak dari sumber gas.

4.2.2 Prosedur Pengujian

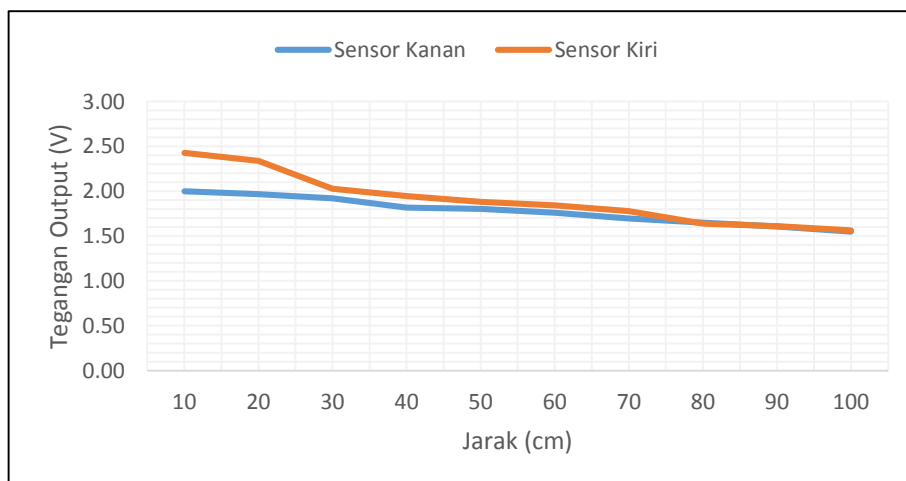
Pada pengujian ini, gas metana digunakan sebagai sumber gas. Pengujian dilakukan dengan cara meletakkan sumber gas pada jarak kelipatan 10 cm. Jarak maksimal dari pengujian adalah 100 cm. Tegangan keluaran dari sensor gas dikonversi menjadi nilai *ADC* dengan resolusi 10-bit oleh *microcontroller*. Pengujian dilakukan pada dua sensor gas secara bersamaan. Prosedur pengujian sensor gas dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Prosedur pengujian respon sensor gas terhadap jarak sumber gas.

4.2.3 Hasil Pengujian dan Analisa

Hasil pengujian sensor gas terhadap jarak dari sumber gas dapat dilihat pada tabel 4.1. Dari hasil pengujian terlihat bahwa semakin dekat jarak sensor gas terhadap sumber gas, maka tegangan keluaran dari sensor gas akan semakin besar. Jika semakin jauh jarak sensor gas terhadap sumber gas, maka tegangan keluaran dari sensor gas akan semakin kecil. Grafik perbandingan pembacaan sensor gas dapat dilihat pada gambar 4.4.



Gambar 4.4 Grafik perbandingan respon sensor gas terhadap jarak sumber gas.

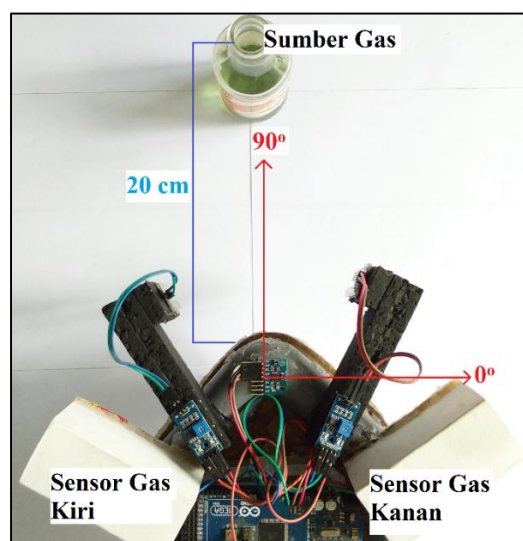
Tabel 4.2 Hasil percobaan respon sensor gas terhadap jarak sumber gas.

Jarak (cm)	Tegangan <i>Output</i> (V)	
	Sensor Gas Kanan	Sensor Gas Kiri
10	2.00	2.43
20	1.97	2.34
30	1.92	2.03
40	1.82	1.95
50	1.80	1.88
60	1.76	1.84
70	1.70	1.78
80	1.65	1.64
90	1.61	1.61
100	1.55	1.56

4.3 Pengujian Sensor Gas Stereo

4.3.1 Tujuan Pengujian

Sensor gas stereo digunakan untuk mengetahui posisi dari sumber gas. Sistem ini menggunakan dua buah sensor gas yang diletakkan menghadap kanan dan kiri. Tujuan dari pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon dari masing-masing sensor ketika sumber gas diletakkan pada posisi tertentu.



Gambar 4.5 Pengujian sensor gas stereo.

4.3.2 Prosedur Pengujian

Pada pengujian ini, gas metana digunakan sebagai sumber gas yang diletakkan pada sudut tertentu dengan jarak 20 cm dari kapal. Arah hadap dari kapal adalah 90°. Data keluaran dari sensor gas berupa tegangan yang dikonversi menjadi nilai *ADC* dengan resolusi 10-bit oleh *microcontroller*. Prosedur pengujian dapat dilihat pada gambar 4.5.

4.3.3 Hasil Pengujian dan Analisa

Hasil pengujian dari sensor gas stereo dapat dilihat pada tabel 4.3. Dari hasil tersebut terlihat bahwa semakin besar sudut dari sumber gas akan menyebabkan kenaikan terhadap pembacaan oleh sensor gas kiri dan penurunan terhadap pembacaan oleh sensor gas kanan. Begitu juga sebaliknya, semakin kecil sudut dari sumber gas akan menyebabkan kenaikan terhadap pembacaan oleh sensor gas kanan dan penurunan terhadap pembacaan oleh sensor gas kiri.

Tabel 4.3 Hasil percobaan sensor gas stereo.

Lokasi Gas (Derajat)	Tegangan <i>Output</i> (V)	
	Sensor Gas Kanan	Sensor Gas Kiri
0	2.0919	2.3021
45	2.0235	2.3118
90	1.999	2.3412
135	1.9746	2.3705
180	1.9453	2.4096

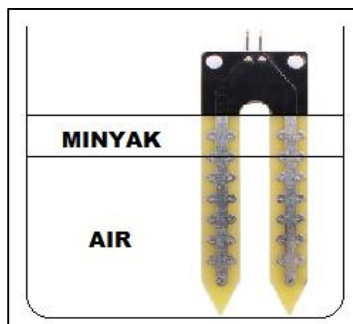
4.4 Pengujian Respon Sensor Cairan terhadap Konduktifitas Cairan

4.4.1 Tujuan Pengujian

Minyak merupakan material yang bersifat tidak menghantarkan listrik, sedangkan air merupakan material yang bersifat menghantarkan listrik. Jika minyak dituangkan ke dalam sebuah wadah yang berisi air, maka minyak tersebut tidak dapat bercampur dengan air. Minyak akan menggenang di atas air. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon dari sensor cairan terhadap konduktifitas dari cairan yang terdiri dari air dan minyak dalam perbandingan tertentu.

4.4.2 Prosedur Pengujian

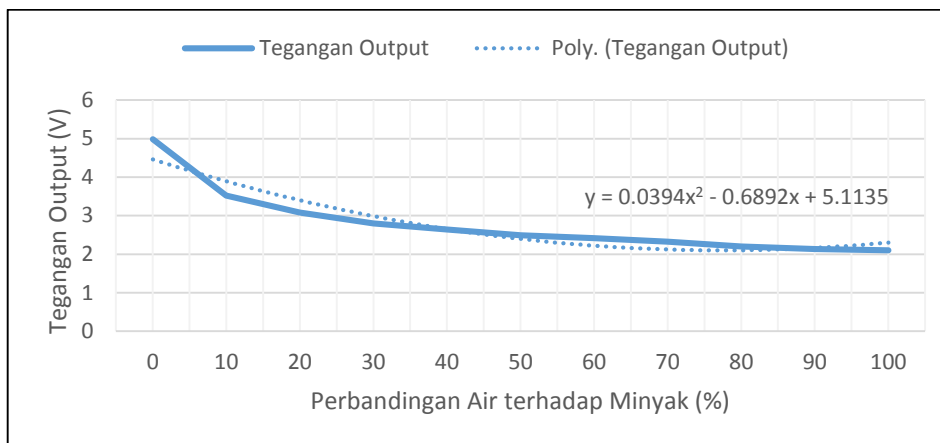
Elektroda dari sensor cairan berbasis resistansi dimasukkan ke dalam gelas yang berisi air dan minyak dengan perbandingan tertentu. Elektroda memiliki tinggi 35 mm. Data keluaran dari sensor cairan berupa tegangan. Data tersebut akan dibaca dan dikonversi oleh *microcontroller* menjadi nilai *ADC* dengan resolusi 10-bit. Prosedur dari pengujian dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Prosedur pengujian respon sensor cairan terhadap konduktifitas cairan.

4.4.3 Hasil Pengujian dan Analisa

Hasil dari pengujian sensor cairan dapat dilihat pada tabel 4.4. Dari hasil pengujian tersebut, terlihat bahwa perbandingan antara minyak dan air dapat mempengaruhi tegangan *output* dari sensor. Semakin besar level air dibandingkan minyak, maka semakin kecil tegangan *output* yang dikeluarkan. Semakin besar level minyak dibandingkan dengan air, maka semakin besar tegangan *output* yang dikeluarkan. Grafik respon sensor cairan terhadap konduktifitas dapat dilihat pada gambar 4.7. Dari gambar 4.7 terlihat bahwa sensitifitas sensor semakin menurun ketika perbandingan air terhadap minyak semakin tinggi. Sensor cairan memiliki sensitifitas yang tinggi pada 0 hingga 20% perbandingan air terhadap minyak, atau ketika ketinggian air antara 0 hingga 7 mm. Dari hasil percobaan ini, maka penelitian ini hanya menggunakan bagian elektroda setinggi 5 mm untuk membaca level minyak.



Gambar 4.7 grafik respon sensor cairan terhadap konduktifitas.

Tabel 4.4 Hasil pengujian sensor cairan terhadap konduktifitas.

Perbandingan Air terhadap Minyak (%)	Tegangan <i>Output</i> (V)
0	4.9853
10	3.5239
20	3.0841
30	2.7957
40	2.6442
50	2.4927
60	2.4145
70	2.3216
80	2.2043
90	2.1359
100	2.1017

4.5 Pengujian Respon Sensor Cairan terhadap Jarak Minyak

4.5.1 Tujuan Pengujian

Pembacaan sensor cairan dipengaruhi oleh konduktifitas cairan yang diukur. Cairan yang diukur diperumpamakan sebagai resistor. Pengujian ini

dilakukan untuk mengetahui kemungkinan sensor cairan untuk membaca genangan minyak dengan jarak tertentu.

4.5.2 Prosedur Pengujian

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan satu sensor cairan. Elektroda dari sensor akan dicelupkan ke dalam bak yang berisi air. Bagian elektroda yang tercelup hanya setinggi 5 mm. Sedikit minyak akan di tumpahkan pada bak dengan jarak tertentu dari sensor cairan. Jarak antara sensor cairan dengan minyak akan semakin diperkecil dari 15 hingga 0 cm. *Output* sensor cairan berupa tegangan yang kemudian dikonversi oleh *microcontroller* menjadi nilai *ADC* dengan resolusi 10-bit. Prosedur pengujian dapat dilihat pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Prosedur pengujian respon sensor cairan terhadap jarak minyak.

4.5.3 Hasil Pengujian dan Analisa

Hasil dari pengujian ini dapat dilihat pada tabel 4.5. Dari hasil tersebut, terlihat bahwa sensor tidak dapat membaca genangan minyak ketika minyak tidak bersentuhan dengan elektroda dari sensor cairan, sehingga tidak memungkinkan adanya derau akibat pembacaan minyak pada jarak tertentu.

Tabel 4.5 Hasil pengujian sensor cairan terhadap jarak minyak.

Jarak (cm)	Tegangan <i>Output</i> (V)
15	3.0792
13	3.089
10	3.0792
7	3.0792
4	3.0841
1	3.0792
0	3.5191

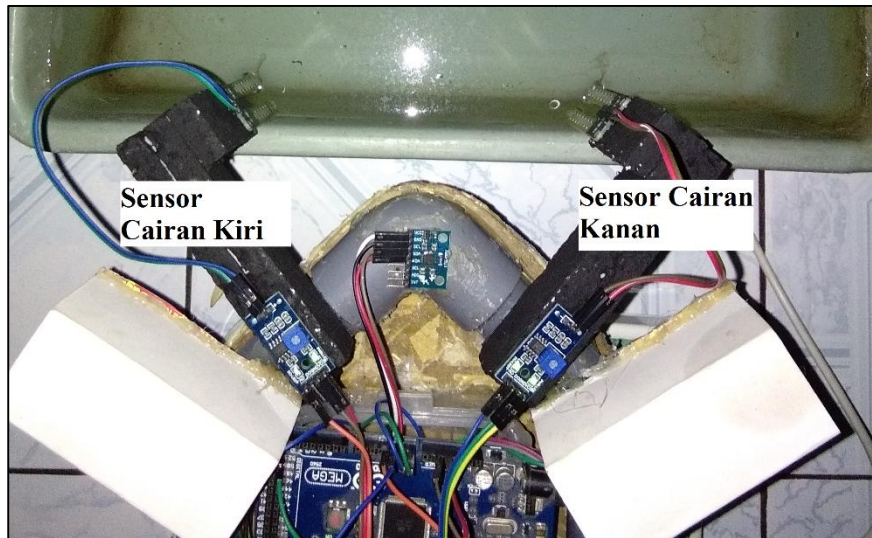
4.6 Pengujian Penggunaan Dua Sensor Cairan

4.6.1 Tujuan Pengujian

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon dari masing-masing sensor cairan jika digunakan secara bersamaan.

4.6.2 Prosedur Pengujian

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan dua sensor cairan. Masing-masing elektroda akan dicelupkan ke dalam bak yang berisi air. Bagian elektroda yang tercelup hanya setinggi 5 mm. Minyak akan di tumpahkan secara beragantian mengenai elektroda dari masing-masing sensor cairan. *Output* sensor cairan berupa tegangan yang kemudian dikonversi oleh *microcontroller* menjadi nilai *ADC* dengan resolusi 10-bit. Minyak merupakan material yang bersifat menempel ke material padat sehingga setelah dilakukannya pencatatan data, sensor cairan harus dibersihkan terlebih dahulu dari minyak yang menempel. Posisi kedua sensor dapat dilihat pada gambar 4.9.



Gambar 4.9 Posisi dari kedua sensor cairan.

4.6.3 Hasil Pengujian dan Analisa

Hasil pengujian dari penggunaan dua sensor cairan dapat dilihat pada tabel 4.6. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kedua sensor dapat digunakan secara bersamaan tanpa mengganggu pembacaan masing-masing sensor cairan.

Tabel 4.6 Hasil pengujian dari penggunaan dua sensor cairan.

Kondisi Minyak		Tegangan <i>Output</i> (V)		Nilai ADC 10-bit	
Sensor Kanan	Sensor Kiri	Sensor Kanan	Sensor Kiri	Sensor Kanan	Sensor Kiri
Tidak ada	Tidak ada	3.1965	3.089	654	632
Tidak ada	Ada	3.1965	3.4702	654	710
Ada	Tidak Ada	3.5826	3.1281	733	640
Ada	Ada	3.5924	3.9247	735	803

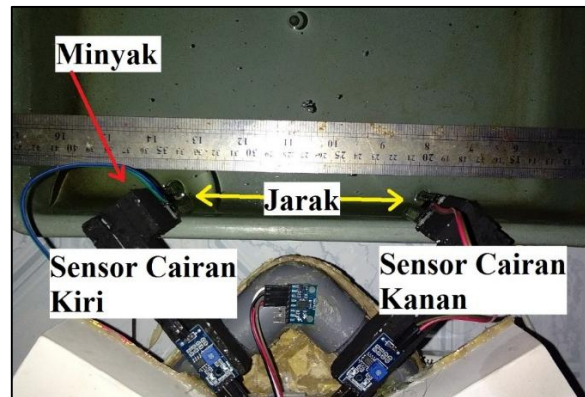
4.7 Pengujian Respon Sensor Cairan terhadap Jarak antar Sensor

4.7.1 Tujuan Pengujian

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh yang dihasilkan jika jarak antar sensor diubah-ubah.

4.7.2 Prosedur Pengujian

Pengujian ini menggunakan dua sensor cairan yang jarak antar keduanya akan diubah-ubah dari 15 hingga 4 cm. Sensor cairan kiri diberi genangan minyak, sedangkan sensor cairan kanan tidak. Prosedur pengujian dapat dilihat pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Prosedur pengujian respon sensor cairan terhadap jarak antar sensor.

4.7.3 Hasil Pengujian dan Analisa

Hasil pengujian respon sensor cairan terhadap jarak antar sensor dapat dilihat pada tabel 4.7. Dari hasil pengujian terlihat bahwa tidak ada pengaruh terhadap pembacaan masing-masing sensor dengan jarak antara 4 hingga 15 cm.

Tabel 4.7 Hasil pengujian respon sensor cairan terhadap jarak antar sensor.

Jarak antar Sensor (cm)	Tegangan <i>Output</i> (V)	
	Sensor Cairan Kanan	Sensor Cairan Kiri
15	3.0938	4.9169
13	3.1134	4.9413
10	3.0841	4.9365
7	3.089	4.9071
4	3.1036	4.9413

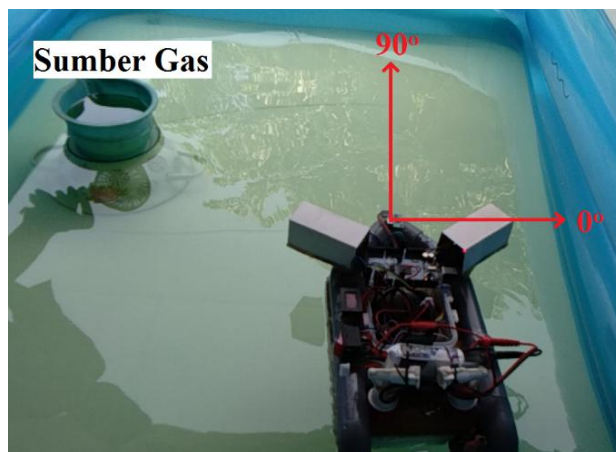
4.8 Pengujian Navigasi Kapal Berbasis Sensor Gas Stereo

4.8.1 Tujuan Pengujian

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon dari navigasi dari kapal tanpa awak untuk mencari sumber gas. Pada pengujian ini, navigasi yang digunakan berdasarkan hasil dari data sensor gas stereo.

4.8.2 Prosedur Pengujian

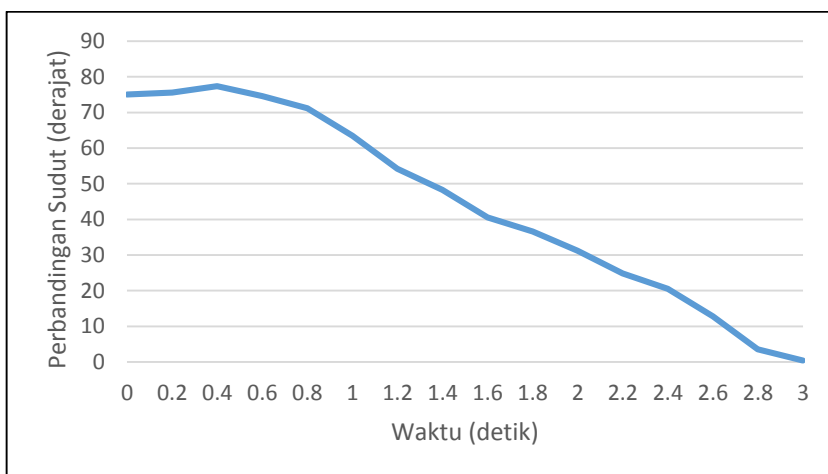
Pada pengujian ini, minyak bumi digunakan sebagai sumber gas yang diletakkan pada sudut tertentu dengan jarak 60 cm dari kapal. Arah hadap awal dari kapal adalah 90° . Data dari hasil percobaan adalah selisih antara sudut dari sumber gas dengan arah hadap kapal setiap 200 milidetik. Prosedur pengujian dapat dilihat pada gambar 4.11.



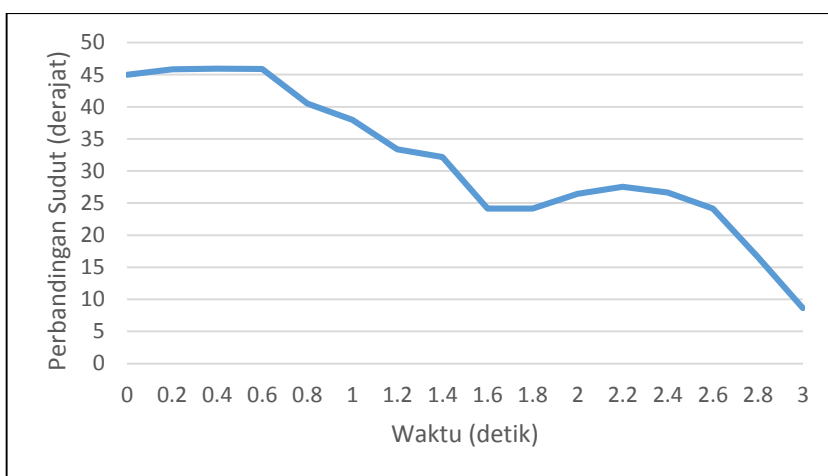
Gambar 4.11 Prosedur pengujian navigasi kapal berbasis sensor gas stereo.

4.8.3 Hasil Pengujian dan Analisa

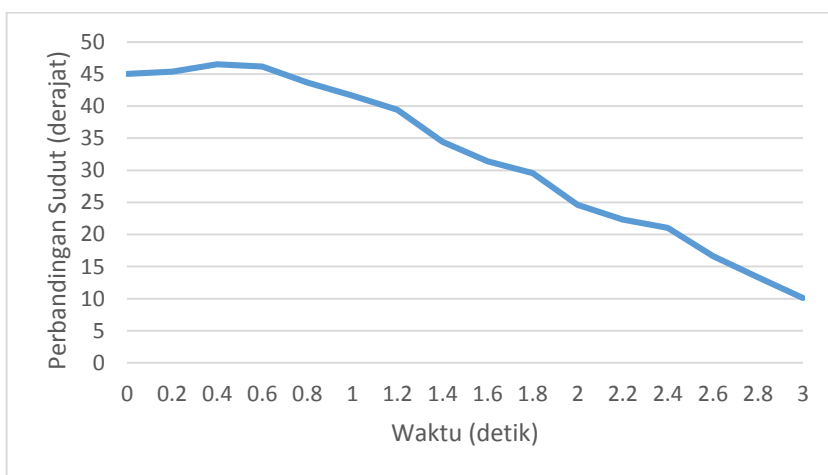
Hasil pengujian respon dari navigasi kapal tanpa awak untuk mencari sumber gas dapat dilihat pada gambar 4.12 untuk respon kapal tanpa awak ketika sumber gas berada pada sudut 15° , gambar 4.13 untuk respon kapal tanpa awak ketika sumber gas berada pada sudut 45° , gambar 4.14 untuk respon kapal tanpa awak ketika sumber gas berada pada sudut 135° , dan gambar 4.15 untuk respon kapal tanpa awak ketika sumber gas berada pada sudut 165° .



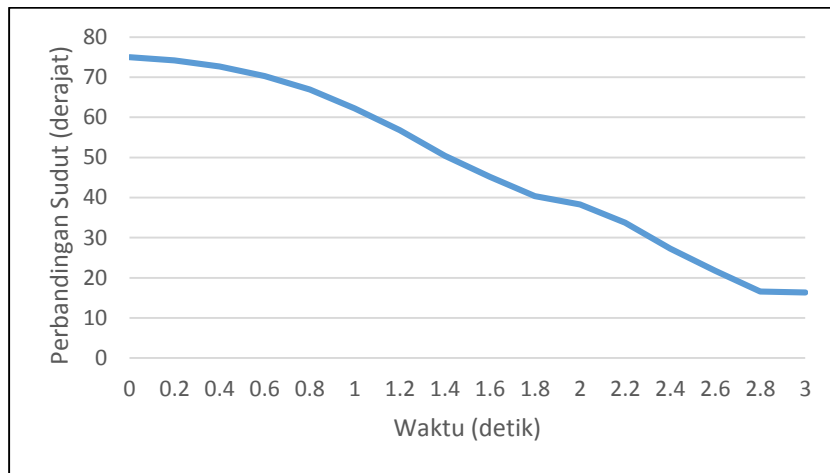
Gambar 4.12 Navigasi ketika sumber gas berada pada sudut 15°.



Gambar 4.13 Navigasi ketika sumber gas berada pada sudut 45°.

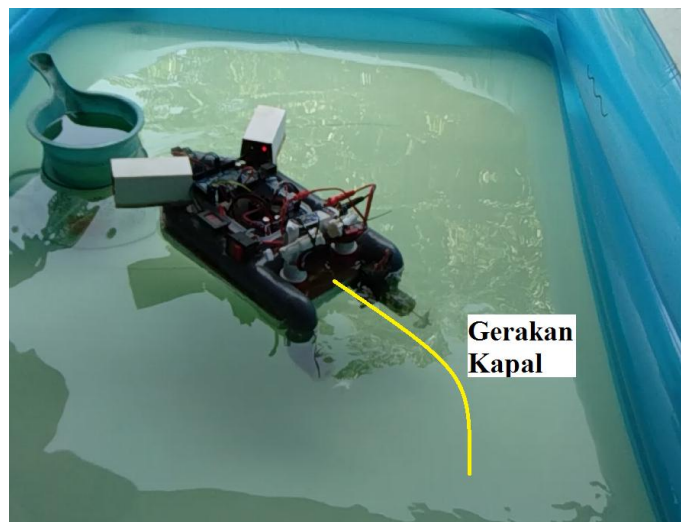


Gambar 4.14 Navigasi ketika sumber gas berada pada sudut 135°.



Gambar 4.15 Navigasi ketika sumber gas berada pada sudut 165°.

Hasil percobaan menunjukkan bahwa selisih antara sudut dari sumber gas dengan arah hadap kapal semakin menurun sampai terjadi error *steady state*. Nilai error *steady state* pada tiap percobaan antara lain 3% ketika sumber gas berada pada sudut 15°, 19.2% ketika sumber gas berada pada sudut 45°, 7.5% ketika sumber gas berada pada sudut 135°, dan 9.9% ketika sumber gas berada pada sudut 165°. Rata-rata dari error *steady state* adalah 9.9%. Akurasi rata-rata yang dicapai dalam pencarian lokasi sumber gas adalah 90,1%. Proses pergerakan kapal untuk mencari sumber gas dapat dilihat pada gambar 4.16.



Gambar 4.16 Pergerakan kapal mencari sumber gas.

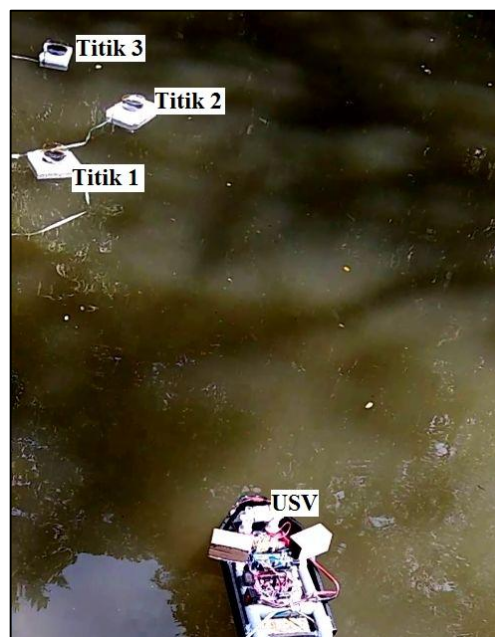
4.9 Pengujian Pencarian Beberapa Titik Sumber Gas

4.9.1 Tujuan Pengujian

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kehandalan dari navigasi dari kapal tanpa awak untuk mencari beberapa titik dari sumber gas. Pada pengujian ini, navigasi yang digunakan berdasarkan hasil dari data sensor gas stereo.

4.9.2 Prosedur Pengujian

Pada pengujian ini, minyak bumi digunakan sebagai sumber gas yang diletakkan pada suatu wadah dan digenangkan di dalam danau. Terdapat tiga titik sample sumber gas yang diletakkan secara berurutan dengan jarak antar sampel sebesar 100 cm. Kapal dibiarkan bergerak menuju tiap titik sampel. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali. Posisi awal dari pengujian dapat dilihat pada gambar 4.17.



Gambar 4.17 Posisi awal dari pengujian pencarian beberapa titik sumber gas.

4.9.3 Hasil Pengujian dan Analisa

Hasil pengujian pencarian beberapa titik sumber gas dapat dilihat pada tabel 4.8. Hasil tersebut menunjukkan bahwa dari 10 kali percobaan, hanya 6 kali kapal berhasil menemukan ketiga titik gas. Sehingga dapat disimpulkan bahwa

tingkat keberhasilan pada pengujian ini sebesar 60%. Salah satu faktor utama yang menyebabkan kegagalan dalam percobaan ini adalah kecepatan angin.

Tabel 4.8 Hasil pengujian pencarian beberapa titik sumber gas.

Percobaan	Target yang Dicapai		
	Titik 1	Titik 2	Titik 3
1	Sukses	Sukses	Sukses
2	Sukses	Sukses	Sukses
3	Sukses	Gagal	Gagal
4	Sukses	Sukses	Sukses
5	Sukses	Sukses	Gagal
6	Sukses	Gagal	Gagal
7	Sukses	Sukses	Sukses
8	Sukses	Sukses	Sukses
9	Sukses	Gagal	Gagal
10	Sukses	Sukses	Sukses

4.10 Pengujian Navigasi Kapal Berbasis Sensor Cairan

4.10.1 Tujuan Pengujian

Navigasi kapal tanpa awak berbasis sensor cairan digunakan untuk mencari konsentrasi minyak tertinggi. Pengujian navigasi dilakukan untuk mengetahui nilai *PWM* yang dihasilkan oleh *microcontroller* ketika kapal bergerak berdasarkan data dari sensor cairan.

4.10.2 Prosedur Pengujian

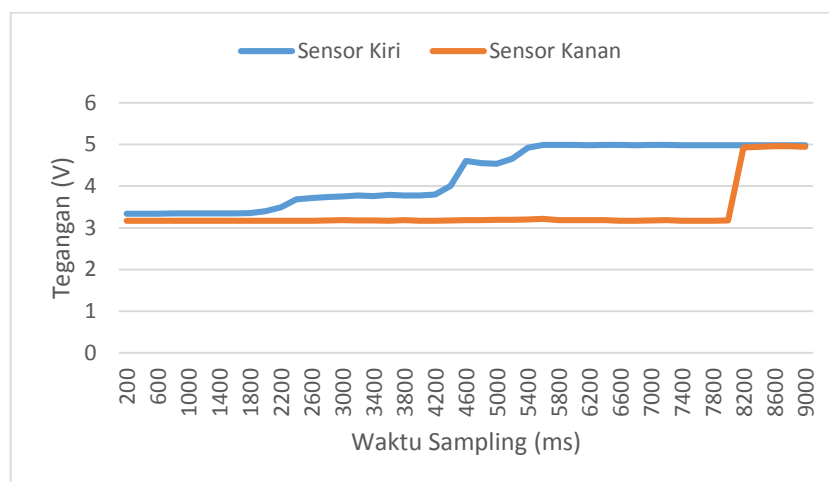
Dalam pengujian ini, minyak bumi akan ditumpahkan pada kolam dengan panjang 150 cm dan lebar 90 cm. Selanjutnya kapal tanpa awak dibiarkan bernavigasi menggunakan dua sensor cairan hingga konsentrasi minyak yang dibaca oleh kedua sensor cairan sangat tinggi. Posisi awal dari kapal dapat dilihat pada gambar 4.18.



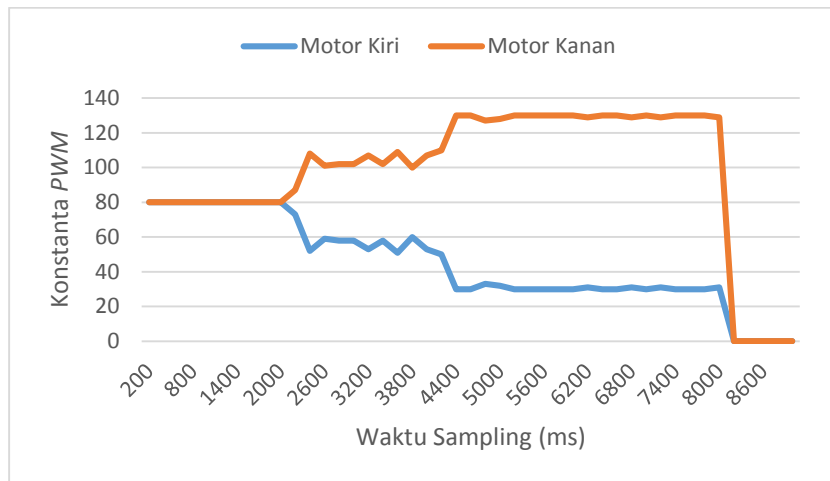
Gambar 4.18 Posisi awal kapal saat pengujian navigasi berbasis sensor cairan.

4.10.3 Hasil Pengujian dan Analisa

Aktifitas dari kedua sensor cairan pada saat percobaan dilakukan dapat dilihat pada gambar 4.19. Dan nilai konstanta *PWM* yang dihasilkan pada saat percobaan dapat dilihat pada gambar 4.20. Ketika konsentrasi minyak yang dibaca oleh sensor cairan sebelah kiri lebih besar dari sensor cairan sebelah kanan, maka nilai konstanta *PWM* yang dibangkitkan oleh *microcontroller* untuk mengatur kecepatan pada motor kiri lebih besar dari pada untuk motor kanan. Ketika konsentrasi minyak yang dibaca oleh kedua sensor adalah sangat tinggi, maka *microcontroller* akan menghentikan pergerakan kedua motor. Pergerakan dari kapal dalam percobaan ini dapat dilihat pada gambar 4.21.



Gambar 4.19 Aktivitas sensor cairan pada saat percobaan.



Gambar 4.20 Nilai *PWM* yang dibangkitkan oleh *microcontroller* selama percobaan.



Gambar 4.21 Pergerakan USV pada percobaan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan penyusunan tesis ini maka dapat disimpulkan bahwa sensor gas stereo dapat digunakan untuk mengetahui lokasi dari sumber gas berdasarkan perbedaan pembacaan konsentrasi gas oleh sensor gas kanan dan sensor gas kiri. Data tersebut dapat diolah menggunakan metode *fuzzy logic control* sehingga memungkinkan kapal tanpa awak untuk bernavigasi menuju lokasi dari sumber gas. Navigasi menggunakan sistem sensor gas stereo yang telah dirancang dapat digunakan untuk menuju lokasi sumber gas dengan akurasi sebesar 90.1%. Tingkat keberhasilan dari pencarian tiga titik sumber gas adalah sebesar 60% dengan percobaan sebanyak 10 kali.

Sensor cairan berbasis resistansi dapat digunakan untuk mengukur konsentrasi minyak yang tergenang di atas air. Dua sensor cairan berbasis resistansi dapat digunakan secara bersamaan dan tidak menimbulkan derau. Penggunaan dua sensor cairan berbasis resistansi yang digabungkan dengan metode *fuzzy logic control* memungkinkan kapal tanpa awak untuk bernavigasi menuju area dengan konsentrasi minyak tertinggi.

5.2 Saran

Penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan, sehingga perlu adanya pengembangan agar dapat digunakan pada kondisi lingkungan yang kompleks. Sensor cairan berbasis resistif dapat digunakan untuk bernavigasi menuju area dengan konsentrasi minyak tertinggi, namun sensor ini memerlukan kalibrasi pada setiap kondisi yang berbeda. Sensor cairan ini juga hanya bisa digunakan di permukaan air yang tenang. Perlu adanya penelitian yang berfokus pada sensor cairan untuk mengatasi kelemahan tersebut.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Nandini, “katadata,” 17 April 2018. [Online]. Available: <https://katadata.co.id/infografik/2018/04/17/9-insiden-tumpahan-minyak-di-laut>. [Diakses 5 1 2019].
- [2] S. E. Chang, J. Stone, K. Demes dan M. Piscitelli, “Consequences of Oil Spills: a Review and Framework of Informing Planning,” *Ecology and Society*, vol. 19, no. 2, p. 26, 2014.
- [3] Senseable City Lab, “Senseable,” MIT, 2010. [Online]. Available: <http://senseable.mit.edu/seaswarm/>. [Diakses 12 1 2019].
- [4] Sulistyono, Suntoro dan M. Masykuri, “Kajian Dampak Tumpahan Minyak dari Kegiatan Operasi Kilang Minyak Terhadap Kualitas Air dan Tanah,” *EKOSAINS*, vol. 4, no. 2, pp. 23-34, 2012.
- [5] Harianto, M. Rivai dan D. Purwanto, “Implementation of Electronic Nose in Omni-directional Robot,” *IJECE*, Surabaya, 2013.
- [6] A. D. R. Aljabar, “Rancang Bangun Robot Omni untuk Mencari Sumber Gas Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy Berbasis Mikrokontroler ARM STM-32,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.
- [7] D. Herjuno, M. Rivai dan T. A. Sardjono, “Teledeteksi Gas pada Mobile Robot yang Dikendalikan Gelombang Radio,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2012.
- [8] A. N. Gustica, M. Rivai dan Tasripan, “Implementasi Sensor Gas pada Kontrol Lengan Robot untuk Mencari Sumber Gas,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2014.
- [9] M. Rivai, Rendyansyah dan D. Purwanto, “Implementation of Fuzzy Logic Control in Robot Arm for Searching Location of Gas Leak,” *IEEE*, Surabaya, 2015.
- [10] H. Avrilyantama, M. Rivai dan D. Purwanto, “Pengembangan Robot Hexapod untuk Melacak Sumber Gas,” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2015.
- [11] D. Liu, X. Luan, F. Zhang, J. Jin, J. Guo dan R. Zheng, “An USV-based Laser Fluorosensor for Oil Spill,” *IEEE*, Qingdao, 2016.

- [12] A. Sasongko, “Komposisi Minyak Bumi,” Institut Pertanian Bogor, Bogor, 2012.
- [13] M. B. Widyaishwara, “Minyak Bumi,” LPMP Sulawesi Selatan, Makassar, 2011.
- [14] M. Rivai, T. Mujiono dan D. Purwanto, “Pengaruh Variasi Suhu Periodik Terhadap Selektivitas Sensor Gas Semikonduktor,” Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi, Surabaya, 2009.
- [15] A. Oktorizal, “Studi Sensor Gas Berbasis Surface Acoustic Wave untuk Penerapan pada Sistem Identifikasi Gas,” Departemen Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta, 2010.
- [16] Anonim. [Online]. Available: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-4.pdf>. [Diakses 3 12 2017].
- [17] Radiometer, “Conductivity Theory and Practice,” Radiometer, Cedex, 2004.
- [18] T. Sutojo, E. Mulyanto dan V. Suhartono, Kecerdasan Buatan, Yogyakarta: ANDI, 2011.
- [19] C. E. Septian, “Rancang Bangun Differential Drive Mobile Robot untuk Penjejak Dinding dan Penghindar Halangan dengan Navigasi Sensor Ultrasonik dan Modul Kamera Raspberry Pi Menggunakan Metode Kendali Logika Fuzzy,” Institut Teknologi Nasional Malang, Malang, 2014.
- [20] Mantech, “Arduino Mega 2560,” Mantech.
- [21] R. P. M. D. Labib, “Perancangan Robot Troli Pengikut Manusia Otomatis dengan Metode Kendali PID (Proportional Integral Derivative),” Institut Teknologi Nasional Malang, Malang, 2016.
- [22] E. D. Sugita, “Pembuatan Purwarupa Tes Model untuk Penguji Sistem Autopilot pada Unmanned Surface Vehicle (USV),” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.

LAMPIRAN

```
#include <MPU6050_tockn.h>
#include <Wire.h>
#include <math.h>

// Pins
#define sensor_cairan_kanan  A2
#define sensor_cairan_kiri  A3
#define pin_skanan  A0
#define pin_skiri  A1
#define sw          52
#define indikator   13
#define motor1_a    27
#define motor1_b    26
#define motor1_en    2
#define motor2_a    25
#define motor2_b    24
#define motor2_en    3

// Timer
unsigned int timer = 0;
unsigned long currentTime, prevTime;

// Input
#define refA  317.0
#define refB  320.0
#define ts    20 //ms
```

```

#define larik      10

int adc;
float buff1[larik], buff2[larik], buff3[larik], buff4[larik];
float temp1, temp2, temp3, temp4;
float senA_ref, senB_ref, GdiffOld = 0;
float senA, senB, gasA, gasB;
float diff, del;
float senC_ref, senD_ref, CdiffOld = 0;
float senC, senD, cairA, cairB;

// Fuzzifikasi
float Gf_diff[5], Gf_del[5];
float GT_N[2] = {-24, -12},
      GT_NS[3] = {-24, -12, 0},
      GT_AZ[3] = {-12, 0, 12},
      GT_PS[3] = { 0, 12, 24},
      GT_P[3] = { 12, 24};

float Cf_diff[3], Cf_del[3];
float CT_N[2] = {-200, 0},
      CT_AZ[3] = {-100, 0, 100},
      CT_P[3] = { 0, 200};

// Rule Base
float Grule[5][5];
float Crule[3][3];

// Defuzzifikasi

```

```

#define GN    -60.0
#define GNS   -30.0
#define GAZ    0.0
#define GPS   30.0
#define GP    60.0

float Gdef_MOF[5][5] = {{GN, GN, GN, GPS, GP},
                        {GN, GNS, GNS, GPS, GP},
                        {GN, GNS, GAZ, GPS, GP},
                        {GN, GNS, GPS, GPS, GP},
                        {GN, GNS, GP, GP, GP}};

#define CN    -50.0
#define CAZ    0.0
#define CP    50.0

float Cdef_MOF[3][3] = {{CN, CN, CAZ},
                        {CN, CAZ, CP},
                        {CAZ, CP, CP}};

float defuz;

// Output
int pwm_kanan, pwm_kiri;

// IMU
MPU6050 mpu6050(Wire);

char datum;

```

```

void Gfuzzifikasi(float in, float *out, float *T0, float *T1, float *T2, float
*T3, float *T4){
    // N
    if(in < T0[0]){
        out[0] = 1;
    }
    else if(in >= T0[0] && in <= T0[1]){
        out[0] = (in - T0[1])/(T0[0] - T0[1]);
    }
    else{
        out[0] = 0;
    }

    // NS
    if(in < T1[0]){
        out[1] = 0;
    }
    else if(in >= T1[0] && in <= T1[1]){
        out[1] = (T1[0] - in)/(T1[0] - T1[1]);
    }
    else if(in >= T1[1] && in <= T1[2]){
        out[1] = (in - T1[2])/(T1[1] - T1[2]);
    }
    else{
        out[1] = 0;
    }

    // AZ
    if(in < T2[0]){

```

```

    out[2] = 0;
}
else if(in >= T2[0] && in <= T2[1]){
    out[2] = (T2[0] - in)/(T2[0] - T2[1]);
}
else if(in >= T2[1] && in <= T2[2]){
    out[2] = (in - T2[2])/(T2[1] - T2[2]);
}
else{
    out[2] = 0;
}

```

```

//PS
if(in < T3[0]){
    out[3] = 0;
}
else if(in >= T3[0] && in <= T3[1]){
    out[3] = (T3[0] - in)/(T3[0] - T3[1]);
}
else if(in >= T3[1] && in <= T3[2]){
    out[3] = (in - T3[2])/(T3[1] - T3[2]);
}
else{
    out[3] = 0;
}

```

```

// P
if(in < T4[0]){
    out[4] = 0;
}

```

```

}
else if(in >= T4[0] && in <= T4[1]){
    out[4] = (T4[0] - in)/(T4[0] - T4[1]);
}
else{
    out[4] = 1;
}
}

```

```

void Cfuzzifikasi(float in, float *out, float *T0, float *T1, float *T2){
    // N
    if(in < T0[0]){
        out[0] = 1;
    }
    else if(in >= T0[0] && in <= T0[1]){
        out[0] = (in - T0[1])/(T0[0] - T0[1]);
    }
    else{
        out[0] = 0;
    }

    // AZ
    if(in < T1[0]){
        out[1] = 0;
    }
    else if(in >= T1[0] && in <= T1[1]){
        out[1] = (T1[0] - in)/(T1[0] - T1[1]);
    }
    else if(in >= T1[1] && in <= T1[2]){

```



```

    out[1] = (in - T1[2])/(T1[1] - T1[2]);
}
else{
    out[1] = 0;
}

// P
if(in < T2[0]){
    out[2] = 0;
}
else if(in >= T2[0] && in <= T2[1]){
    out[2] = (T2[0] - in)/(T2[0] - T2[1]);
}
else{
    out[2] = 1;
}
}

void ruleEvaluation(float *in1, float *in2, int index1, int index2, int fl){
    int i=0, j=0;
    float tempRule = 0;
    if(fl == 1){
        for(i=0;i<index1;i++){
            for(j=0;j<index2;j++){
                tempRule = min(in1[i], in2[j]);
                Grule[i][j] = tempRule;
            }
        }
    }
}

```

```

if(fl == 2){
    for(i=0;i<index1;i++){
        for(j=0;j<index2;j++){
            tempRule = min(in1[i], in2[j]);
            Crule[i][j] = tempRule;
        }
    }
}
}

```

```

void defuzzifikasi(float &out, float *in1, float *in2, int index1, int index2){
    int i=0;
    float temp1 = 0, temp2 = 0;
    int cells = index1*index2;
    for(i=0;i<cells;i++){
        temp1 = temp1 + ((*in1+i) * (*in2+i));
    }
    i=0;
    for(i=0;i<cells;i++){
        temp2 = temp2 + *(in1+i);
    }
    out = temp1/temp2;
}

```

```

void setup() {
    // put your setup code here, to run once:
    Serial1.begin(115200);
    pinMode(indikator, OUTPUT);
    pinMode(sw, INPUT_PULLUP);
}

```

```

pinMode(motor1_a, OUTPUT);
pinMode(motor1_b, OUTPUT);
pinMode(motor2_a, OUTPUT);
pinMode(motor2_b, OUTPUT);
digitalWrite(indikator, LOW);
diff = 0;
prevTime = 0;
senA_ref = refA;
senB_ref = refB;
while(1){
    if(Serial1.available() > 0){
        datum = Serial1.read();
    }
    if(datum == 'a'){
        datum = 0;
        break;
    }
}
while(1){
    currentTime = millis();
    if(currentTime-prevTime >= 1000){
        timer++;
        Serial1.println(timer);
        prevTime = currentTime;
    }
    if(timer >= 40){
        Wire.begin();
        mpu6050.begin();
        mpu6050.calcGyroOffsets(true);
    }
}

```

```

digitalWrite(indikator, HIGH);
prevTime = currentTime;
timer = 0;
while(1){
    currentTime = millis();
    if(currentTime-prevTime >= 20){
        adc = analogRead(sensor_cairan_kanan);
        buff3[timer] = (float) adc;
        adc = analogRead(sensor_cairan_kiri);
        buff4[timer] = (float) adc;
        timer++;
    }
    if(timer >= larik){
        temp3 = 0;
        temp4 = 0;
        for(int i = 0; i < larik; i++){
            temp3 = temp3 + buff3[i];
            temp4 = temp4 + buff4[i];
        }
        senC_ref = temp3/larik;
        senD_ref = temp4/larik;
        timer = 0;
        break;
    }
}
prevTime = millis();
break;
}
}

```

```

while(1){
    if(Serial1.available() > 0){
        datum = Serial1.read();
    }
    if(datum == 'b'){
        datum = 0;
        prevTime = millis();
        break;
    }
}
}

```

```

void loop() {
    // put your main code here, to run repeatedly:
    if(Serial1.available()>0){
        datum = Serial1.read();
        if(datum == 'c'){
            rightForward(0);
            leftForward(0);
            while(1){
                if(Serial1.available()>0){
                    datum = Serial1.read();
                }
                if(datum == 'd'){
                    datum = 0;
                    prevTime = millis();
                    break;
                }
            }
        }
    }
}

```

```
}  
}
```

```
currentTime = millis();  
if(currentTime - prevTime >= ts){  
    prevTime = currentTime;
```

```
    //Sensors reading
```

```
    adc = analogRead(pin_skanan);  
    buff1[timer] = (float) adc;
```

```
    adc = analogRead(pin_skiri);  
    buff2[timer] = (float) adc;
```

```
    adc = analogRead(sensor_cairan_kanan);  
    buff3[timer] = (float) adc;
```

```
    adc = analogRead(sensor_cairan_kiri);  
    buff4[timer] = (float) adc;  
    timer++;  
}
```

```
if(timer >= larik){  
    temp1 = 0;  
    temp2 = 0;  
    temp3 = 0;  
    temp4 = 0;  
    for(int i = 0; i < larik; i++){
```

```

    temp1 = temp1 + buff1[i];
    temp2 = temp2 + buff2[i];
    temp3 = temp3 + buff3[i];
    temp4 = temp4 + buff4[i];
}
senA = temp1/larik;
if(senA < senA_ref){
    senA_ref = senA;
}
else{
    senA_ref = senA_ref;
}
gasA = senA - senA_ref;

```

```

senB = temp2/larik;
if(senB < senB_ref){
    senB_ref = senB;
}
else{
    senB_ref = senB_ref;
}
gasB = senB - senB_ref;

```

```

senC = temp1/larik;
if(senC < senC_ref){
    senC_ref = senC;
}
else{
    senC_ref = senC_ref;
}

```

```

}
cairA = senC - senC_ref;

senD = temp2/larik;
if(senD < senD_ref){
    senD_ref = senD;
}
else{
    senD_ref = senD_ref;
}
cairB = senD - senD_ref;

if(senC >= 700 || senD >= 700){
    //Error value
    diff = cairA - cairB;
    diff = round(diff);

    //Delta error value
    del = diff - CdiffOld;
    CdiffOld = diff;

    //Fuzzy process
    Cfuzzifikasi(diff, Cf_diff, CT_N, CT_AZ, CT_P);
    Cfuzzifikasi(del, Cf_del, CT_N, CT_AZ, CT_P);
    ruleEvaluation(Cf_diff, Cf_del, 3, 3, 2);
    defuzzifikasi(defuz, &Crule[0][0], &Cdef_MOF[0][0],3,3);

    //Crisp Out
    pwm_kanan = 80 - (int)defuz;

```



```

pwm_kiri = 80 + (int)defuz;

if(pwm_kanan < 0){
    pwm_kanan = 0;
}
else if(pwm_kiri < 0){
    pwm_kiri = 0;
}
else{
    pwm_kanan = pwm_kanan;
    pwm_kiri = pwm_kiri;
}

if(senC > 980 && senD > 980){
    rightForward(0);
    leftForward(0);
    Serial1.println("Lokasi minyak telah ditemukan!");
    while(1){
    }
}

rightForward(pwm_kanan);
leftForward(pwm_kiri);
//    disp();
    timer = 0;
}

else{
    //Error value

```

```

diff = gasA - gasB;
diff = round(diff);

//Delta error value
del = diff - GdiffOld;
GdiffOld = diff;

//Fuzzy process
Gfuzzifikasi(diff, Gf_diff, GT_N, GT_NS, GT_AZ, GT_PS, GT_P);
Gfuzzifikasi(del, Gf_del, GT_N, GT_NS, GT_AZ, GT_PS, GT_P);
ruleEvaluation(Gf_diff, Gf_del, 5, 5, 1);
deffuzzifikasi(defuz, &Grule[0][0], &Gdef_MOF[0][0],5,5);

//Crisp Out
pwm_kanan = 80 - (int)defuz;
pwm_kiri = 80 + (int)defuz;

if(pwm_kanan < 0){
    pwm_kanan = 0;
}
else if(pwm_kiri < 0){
    pwm_kiri = 0;
}
else{
    pwm_kanan = pwm_kanan;
    pwm_kiri = pwm_kiri;
}

rightForward(pwm_kanan);

```

```

        leftForward(pwm_kiri);
//    disp();
        timer = 0;
    }
}
}

void disp(){
    mpu6050.update();
    Serial1.print(mpu6050.getAngleZ());
    Serial1.print(",");
    Serial1.print(senA);
    Serial1.print(",");
    Serial1.print(senB);
    Serial1.print(",");
    Serial1.print(senC);
    Serial1.print(",");
    Serial1.println(senD);
}

void rightForward(int pwm){
    digitalWrite(motor1_a, HIGH);
    digitalWrite(motor1_b, LOW);
    analogWrite(motor1_en, pwm);
}

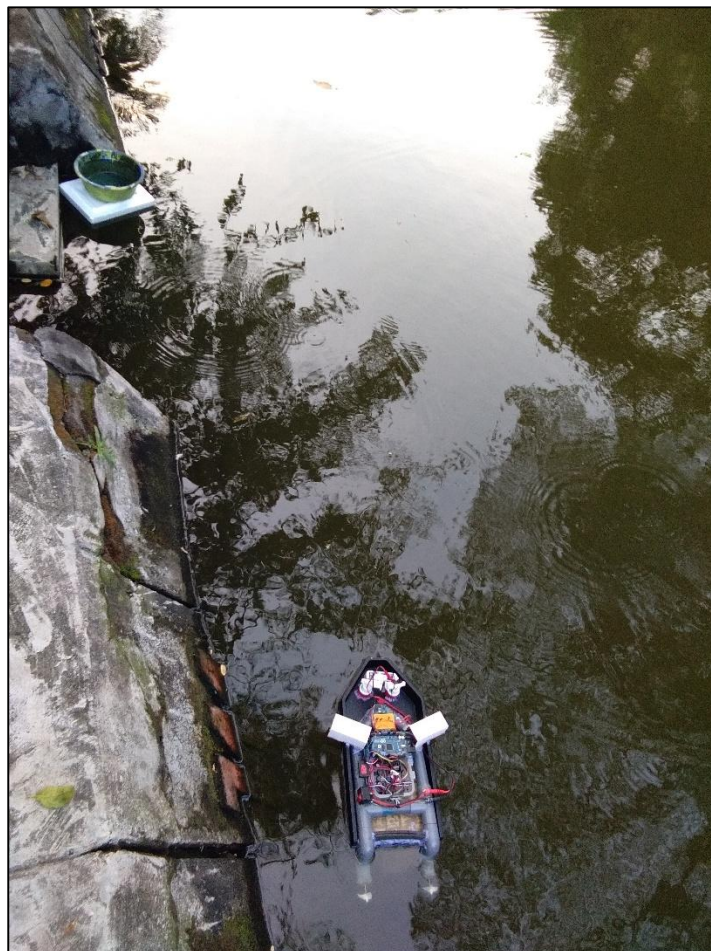
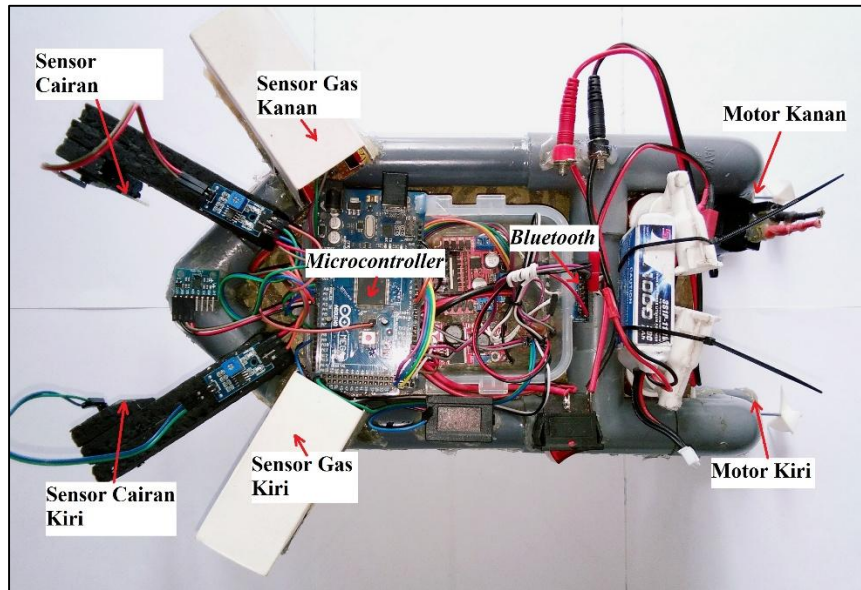
void leftForward(int pwm){
    digitalWrite(motor2_a, HIGH);
    digitalWrite(motor2_b, LOW);

```

```
    analogWrite(motor2_en, pwm);  
}
```

```
void rightBack(int pwm){  
    digitalWrite(motor1_a, LOW);  
    digitalWrite(motor1_b, HIGH);  
    analogWrite(motor1_en, pwm);  
}
```

```
void leftBack(int pwm){  
    digitalWrite(motor2_a, LOW);  
    digitalWrite(motor2_b, HIGH);  
    analogWrite(motor2_en, pwm);  
}
```





BIOGRAFI



Nama Lengkap : Radimas Putra Muhammad Davi Labib
Alamat : Jl. Urip Sumoharjo RT 004 RW 001,
Kel. Pohjentrek, Kec. Purworejo, Kota Pasuruan
Tempat, Tanggal Lahir : Pasuruan, 10 Juli 1994
Jenis Kelamin : Laki-laki
Agama : Islam
e-mail : radimas21@gmail.com
Riwayat Pendidikan : 1. SD Al-Kautsar Pasuruan
2. SMPN 2 Pasuruan
3. SMAN 1 Pasuruan
4. S1 – Institut Teknologi Nasional Malang